

УДК 62.83.52:62.503.56

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

### DIAGRAM FOR SMALL MOVEMENTS OF EXECUTIVE BODY OF 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

#### Агаев Сергей Олегович

студент,  
Кубанский государственный  
технологический университет

**Аннотация.** В данной работе без учета влияния индуктивности якорной цепи электродвигателя постоянного тока разработана оптимальная по быстродействию диаграмма для малых перемещений исполнительного органа двухмассовой упругой электромеханической системы с ограничением по току якорной цепи электродвигателя.

**Ключевые слова:** двухмассовая упругая электромеханическая система, малые 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

#### Agayev Sergey Olegovich

Student,  
Kuban state technological university

**Annotation.** In this work, without taking into account the influence of the inductance of the anchor circuit of a DC motor, a speed-optimal diagram for small displacements of the actuator of a two-mass elastic electromechanical system with a current limit of the armature circuit of the electric motor is developed.

**Keywords:** two-mass elastic electromechanical system, small 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:

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

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

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

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

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

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

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

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

$$(\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}) = \frac{1}{2} \omega_{\text{max}} \cdot (8t_1 + t_2 + t_3); \quad (9)$$

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

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,  $\frac{\text{рад}}{\text{с}^4}$ ;  
 $\omega_{\text{max}}$  – максимальное 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, четвертого, пятого, шестого, седьмого, девятого и десятого этапов, с;  
 $t_2$  – длительность третьего этапа, с;  
 $t_3$  – длительность восьмого 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 (5):

$$\omega_{\text{min}}^{(1)} = -\frac{C_m I_{\text{доп}} + M_{\text{со}}}{J_1 + J_2}. \quad (13)$$

Из уравнения (7) и зависимости (13):

$$\omega_{\text{max}^*}^{(3)} = \frac{C_m I_{\text{доп}} + M_{\text{со}}}{(J_1 + J_2) \cdot t_1^2}. \quad (14)$$

Из уравнений (4), (8), (9) и зависимостей (11), (13):

$$t_2 = -\frac{3C_m I_{\text{доп}} + M_{\text{со}}}{C_m I_{\text{доп}}} \pm \sqrt{\frac{(C_m I_{\text{доп}} + M_{\text{со}})^2}{C_m^2 I_{\text{доп}}^2} \cdot t_1^2 + \frac{C_m I_{\text{доп}} + M_{\text{со}}}{C_m I_{\text{доп}} - M_{\text{со}}} \cdot \frac{J_1 + J_2}{C_m I_{\text{доп}}} \cdot (\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}})}. \quad (15)$$

$$t_3 = \frac{C_m I_{\text{доп}} - M_{\text{со}}}{C_m I_{\text{доп}} + M_{\text{со}}} \cdot (2t_1 + t_2) - 2t_1; \quad (16)$$

$$\omega_{\text{max}} = \frac{C_m I_{\text{доп}} - M_{\text{со}}}{J_1 + J_2} \cdot (2t_1 + t_2). \quad (17)$$

Если  $t_3 = 0$ , то  $(\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}) = \varphi_{\text{гр.1}}$ .

При этом:

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

Если  $\omega_{\text{max}} = \omega_{\text{доп}}$ , то  $(\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}) = \varphi_{\text{гр.2}}$ ,

где  $\omega_{\text{доп}}$  – допустимое значение скорости исполнительного органа двухмассовой упругой электромеханической системы,  $\frac{\text{рад}}{\text{с}}$ .

При этом:

$$\varphi_{\text{гр.2}} = \frac{1}{2} \omega_{\text{доп}} \cdot \left[ 4t_1 + \frac{(J_1 + J_2) \cdot \omega_{\text{доп}}}{C_m I_{\text{доп}} - M_{\text{со}}} + \frac{(J_1 + J_2) \cdot \omega_{\text{доп}}}{C_m I_{\text{доп}} + M_{\text{со}}} \right]. \quad (19)$$

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

$C_e = 1,29 \frac{В \cdot с}{рад}$  – коэффициент пропорциональности между угловой скоростью исполнительного органа электродвигателя и его ЭДС,  $\frac{В \cdot с}{рад}$ ;

$C_M = 1,25 В \cdot с$ ;

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

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

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

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

На контролируемые координаты двухмассовой упругой электромеханической системы накладывались следующие ограничения:

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

$I_{доп} = 8 \text{ А}$ ;

$\omega_{доп} = 160 \frac{рад}{с}$  – допустимое значение скорости,  $\frac{рад}{с}$ .

Момент сопротивления имел следующее значение:

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

Граничные значения угла поворота исполнительного органа двухмассовой упругой электромеханической системы равны:

$\varphi_{гр.1} = 1,44 \text{ рад}$ ;

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

В работе выполнен численный эксперимент с целью определения зависимости длительности цикла перемещения исполнительного органа двухмассовой упругой электромеханической системы, результаты которого приведены в таблице 1.

Таблица 1

$(\varphi_{кон} - \varphi_{нач}), \text{ рад}$	$t_2, \text{ с}$	$t_3, \text{ с}$	$T_{ц}, \text{ с}$	$\frac{\omega_{max}, \text{ рад}}{\text{с}}$
14,4	0,4	0	1,2	24
28,8	0,7	0,1	1,6	36
48	1	0,2	2	48
72	1,3	0,3	2,4	60
100,8	1,6	0,4	2,8	72
134,4	1,9	0,5	3,2	84
172,8	2,2	0,6	3,6	96
216	2,5	0,7	4	108
264	2,8	0,8	4,4	120
316,8	3,1	0,9	4,8	132
374,4	3,4	1	5,2	144
436,8	3,7	1,1	5,6	156
$458 \frac{2}{3}$	3,8	$1 \frac{2}{15}$	$5 \frac{11}{15}$	160

Приведенная на рисунках 1–4 диаграмма для малых перемещений исполнительного органа двухмассовой упругой электромеханической системы имеет следующие параметры:

$(\varphi_{кон} - \varphi_{нач}) = 48$ ;

$t_1 = 0,1 \text{ с}; t_2 = 1 \text{ с}; t_3 = 0,2 \text{ с}; T_{ц} = 2 \text{ с}; \omega_{max} = 48 \frac{рад}{с}$ ;

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

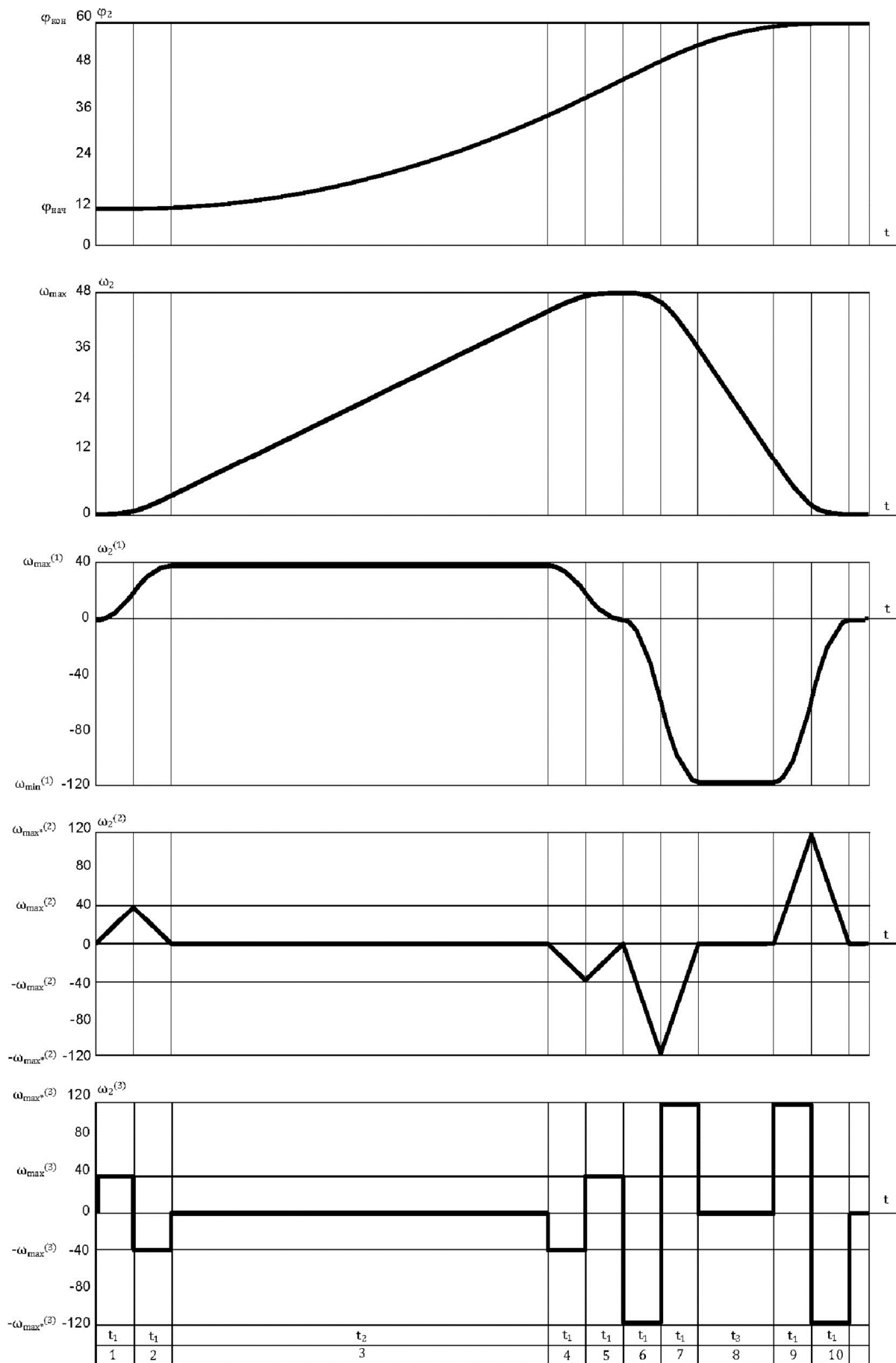


Рисунок 1

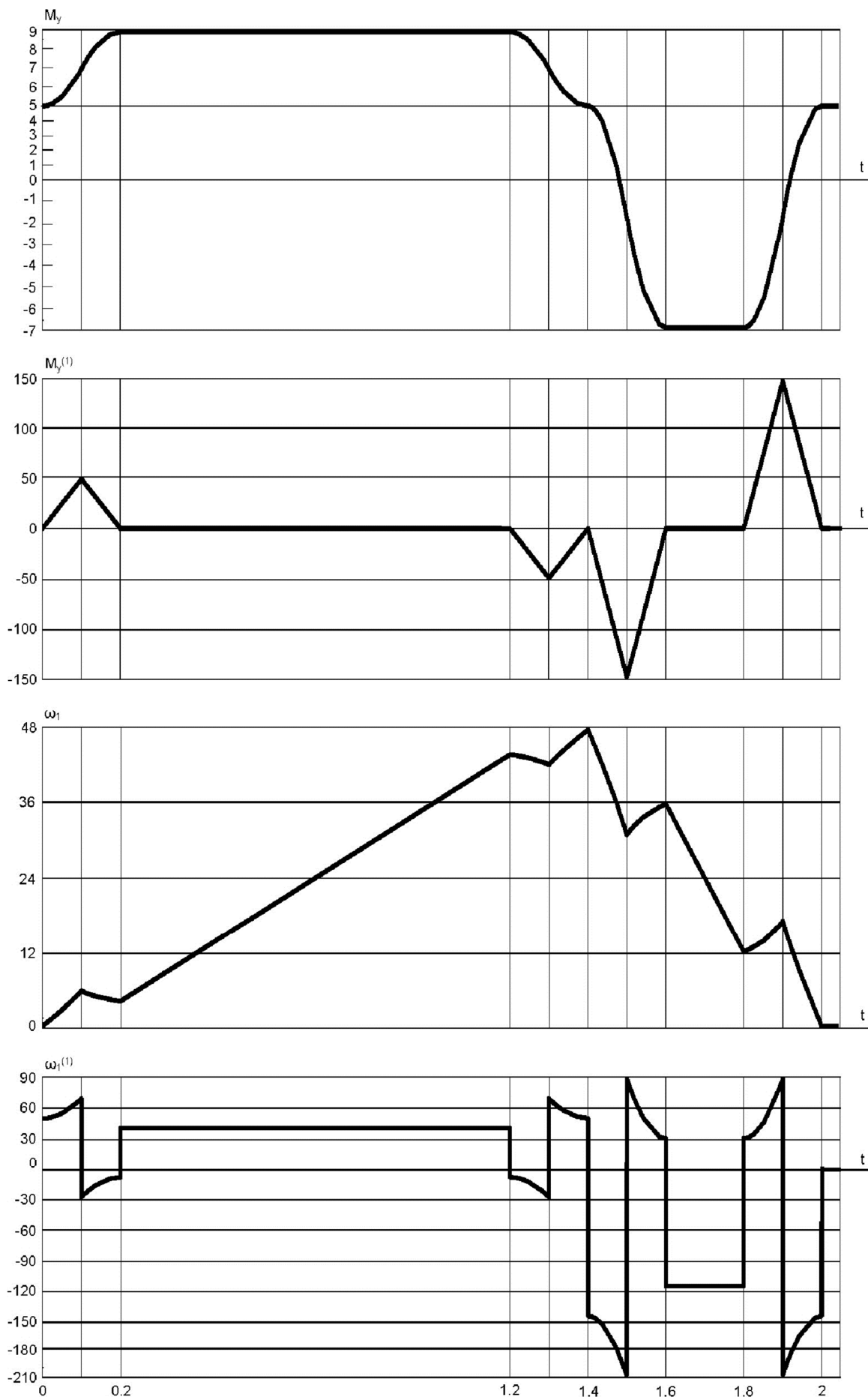


Рисунок 2

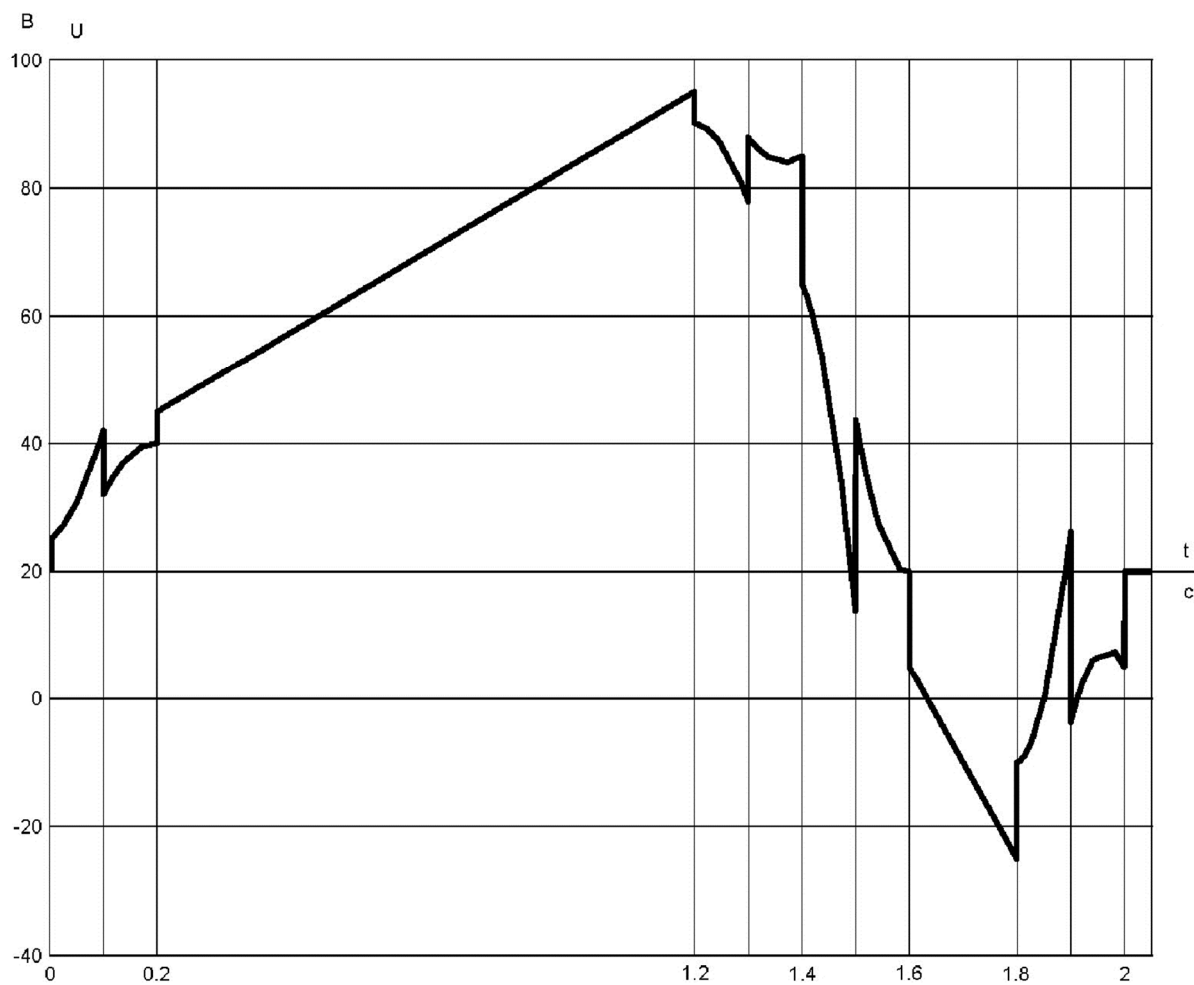
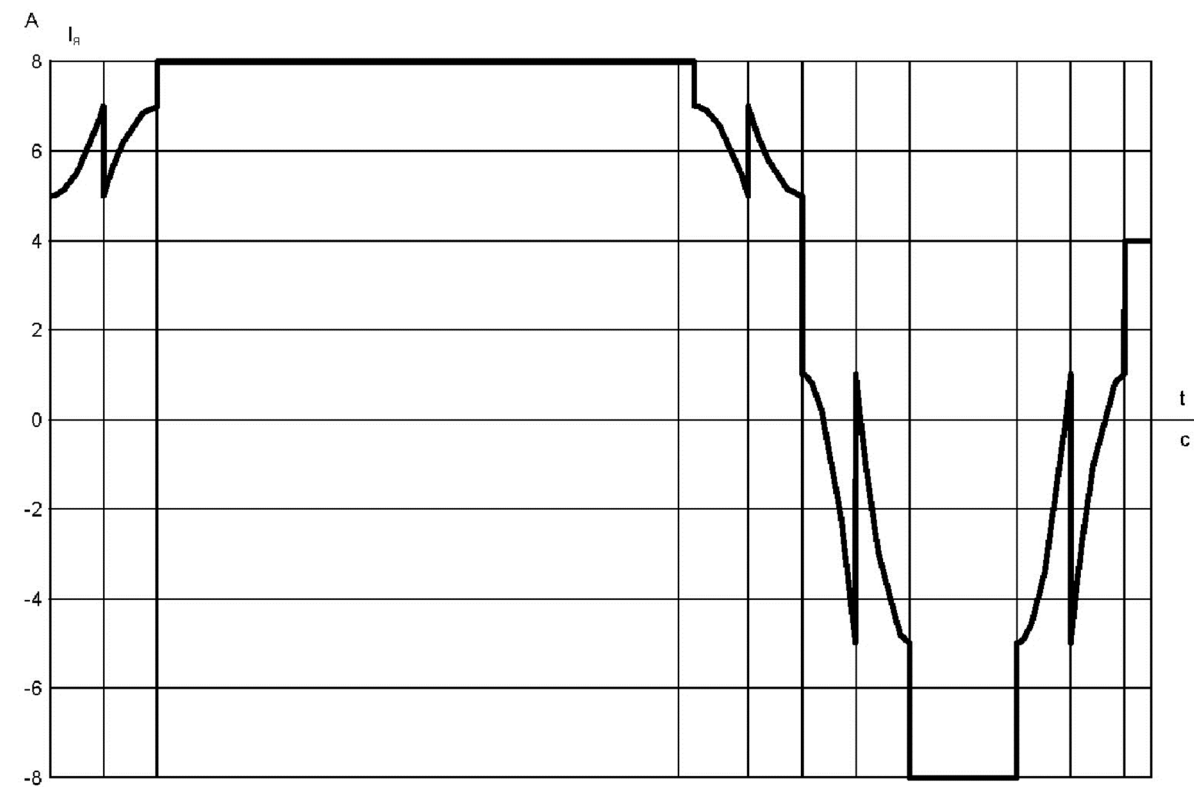


Рисунок 3

### **Выводы**

Принятое в работе допущение о неучете влияния индуктивности якорной цепи, позволило решить поставленную задачу по разработке оптимальной по быстродействию диаграммы для малых перемещений исполнительного органа двухмассовой упругой электромеханической системы и получить аналитические зависимости для определения ее параметров.

Однако, при реализации данной диаграммы из-за не учета влияния индуктивности якорной цепи появится несанкционированное движение исполнительного органа двухмассовой упругой электромеханической системы.

### **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.