

УДК 62

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДВУХМАССОВОЙ УПРУГОЙ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С ТРЕМЯ КРАТНЫМИ КОРНЯМИ ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ



STUDY OF THE TRANSIENT CHARACTERISTICS OF A TWO-MASS ELASTIC ELECTROMECHANICAL SYSTEM WITH THREE MULTIPLE ROOTS OF THE CHARACTERISTIC EQUATION

Добробаба Юрий Петрович

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

Печёнкин Олег Андреевич

студент,
Кубанский государственный технологический университет
pchn257@mail.ru

Шефер Сергей Сергеевич

студент,
Кубанский государственный технологический университет

Аннотация. В данной статье определены параметры двухмассовой упругой электромеханической системы, при которых её передаточная функция имеет четыре кратных корня характеристического уравнения. Двухмассовая упругая электромеханическая система с кратными корнями характеристического уравнения обеспечивает предельное быстродействие переходных процессов без перерегулирования [1].

Ключевые слова: двигатель постоянного тока, система четвертого порядка, передаточная функция, упругий валопровод.

Dobrobaba Yury Petrovich

Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor,
Associate Professor of department
of power supply industrial enterprises
Kuban state technological university

Pechonkin Oleg Andreevich

Student,
Kuban state technological university
pchn257@mail.ru

Shefer Sergey Sergeevich

Student,
Kuban state technological university.

Annotation. In this article, the parameters of a two-mass elastic electromechanical system are determined, in which its transfer function has four multiple roots of the characteristic equation. A two-mass elastic electromechanical system with multiple roots of the characteristic equation provides the maximum speed of transients without overshoot [1].

Keywords: DC motor, fourth order system, transfer function, elastic shaft line.

Передаточная функция для двухмассовой упругой электромеханической системы имеет вид [2]:

$$\frac{\omega_2(p)}{U(p)} = \frac{1}{C_E} \cdot \frac{1}{\frac{L_A J_1 J_2}{C_E C_M C_T} p^4 + \frac{R_A J_1 J_2}{C_E C_M C_T} p^3 + \left[\frac{L_A (J_1 + J_2)}{C_E C_M} + \frac{J_2}{C_T} \right] p^2 + \frac{R_A (J_1 + J_2)}{C_E C_M} p + 1}, \quad (1)$$

Передаточная функция системы четвертого порядка с четырьмя кратными корнями характеристического уравнения имеет вид [2]:

$$W_{40}(p) = \frac{1}{C_E} \cdot \frac{1}{(Tp + 1)^4};$$

или

$$W_{40}(p) = \frac{1}{T^4 p^4 + 4T^3 p^3 + 6T^2 p^2 + 4Tp + 1}, \quad (2)$$

где T – постоянная времени полинома знаменателя передаточной функции четвертого порядка.

Приравняв (1) и (2), получим систему уравнений (3–6) [2]:

$$\frac{L_{\pi} J_2}{C_{\pi} C_M C_y} = T^4; \quad (3)$$

$$\frac{R_{\pi} J_2}{C_{\pi} C_M C_y} = 4T^3; \quad (4)$$

$$\frac{L_{\pi}(J_1 + J_2)}{C_{\pi} C_M} + \frac{J_2}{C_y} = 6T^2; \quad (5)$$

$$\frac{R_{\pi}(J_1 + J_2)}{C_{\pi} C_M} = 4T. \quad (6)$$

Из уравнений (3) и (4) получим:

$$\frac{L_{\pi}}{R_{\pi}} = \frac{1}{4} T. \quad (7)$$

Из уравнений (5), (6) и (7) получим:

$$\frac{J_2}{C_y} = 5T^2. \quad (8)$$

Из уравнений (4) и (8) получим:

$$\frac{R_{\pi} J_2}{C_{\pi} C_M} = \frac{4}{5} T. \quad (9)$$

Из уравнений (6) и (9) получим:

$$\frac{R_{\pi} J_2}{C_{\pi} C_M} = \frac{16}{5} T. \quad (10)$$

Из уравнений (9) и (10) получим:

$$J_1 = \frac{1}{4} J_2.$$

Из уравнений (6) и (11) получим:

$$T = \frac{5}{16} \cdot \frac{R_{\pi} J_2}{C_{\pi} C_M}.$$

Из уравнений (5), (8) и (11) получим:

$$L_{\pi} = \frac{5}{64} \cdot \frac{R_{\pi}^2 J_2}{C_{\pi} C_M}.$$

Из уравнений (8) и (12) получим:

$$C_y = \frac{256}{125} \cdot \frac{C_{\pi}^2 C_M^2}{R_{\pi}^2 J_2}.$$

Электромеханическая постоянная времени равна:

$$T_M = \frac{R_{\pi}(J_1 + J_2)}{C_{\pi} C_M}.$$

Рассмотрим двухмассовую упругую электромеханическую систему с параметрами $C_{\pi} = 1,25 \frac{\text{В} \cdot \text{с}}{\text{рад}}$, $C_M = 1,25 \text{ В} \cdot \text{с}$, $R_{\pi} = 5 \text{ Ом}$, $J_2 = 0,08 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$. Определим варьируемые параметры двухмассовой упругой электромеханической системы, при которых её передаточная функция имеет четыре кратных корня характеристического уравнения.

$$J_1 = \frac{1}{4} J_2 = \frac{1}{4} \cdot 0,08 = 0,02 \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$$

$$L_{\pi} = \frac{5}{64} \cdot \frac{R_{\pi}^2 J_2}{C_{\pi} C_M} = \frac{5}{64} \cdot \frac{5^2 \cdot 0,08}{1,25 \cdot 1,25} = 0,1 \text{ Гн};$$

$$C_y = \frac{256 \cdot C_g^2 C_M^2}{125 \cdot R_A^2 J_2} = \frac{256 \cdot 1,25^2 \cdot 1,25^2}{125 \cdot 5^2 \cdot 0,08} = 2,5 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{рад}}$$

$$T = \frac{5 \cdot R_A J_2}{16 \cdot C_g C_M} = \frac{5 \cdot 5 \cdot 0,08}{16 \cdot 1,25 \cdot 1,25} = 0,08 \text{ с};$$

$$T_M = \frac{R_A (J_1 + J_2)}{C_g C_M} = \frac{5}{1,25 \cdot 1,25} \cdot (0,08 + 0,02) = 0,32 \text{ с};$$

$$T_A = \frac{L_A}{R_A} = \frac{0,1}{5} = 0,02 \text{ с};$$

$$J = J_1 + J_2 = 0,08 + 0,02 = 0,1 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Согласно работе [1], переходная характеристика системы четвертого порядка с четырьмя кратными корнями имеет вид [2]:

$$h_{40}(t) = -1 \cdot e^{-\frac{t}{T}} - \frac{1}{T} \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T}} - \frac{1}{2T^2} \cdot t^2 \cdot e^{-\frac{t}{T}} - \frac{1}{6T^3} \cdot t^3 \cdot e^{-\frac{t}{T}} + 1.$$

$$h_{40}(t) = -1 \cdot e^{-12,5t} - 12,5 \cdot t \cdot e^{-12,5t} - 78,125 \cdot t^2 \cdot e^{-12,5t} - 325,521 \cdot t^3 \cdot e^{-12,5t} + 1.$$

Полученная переходная характеристика изображена на рисунке 1.

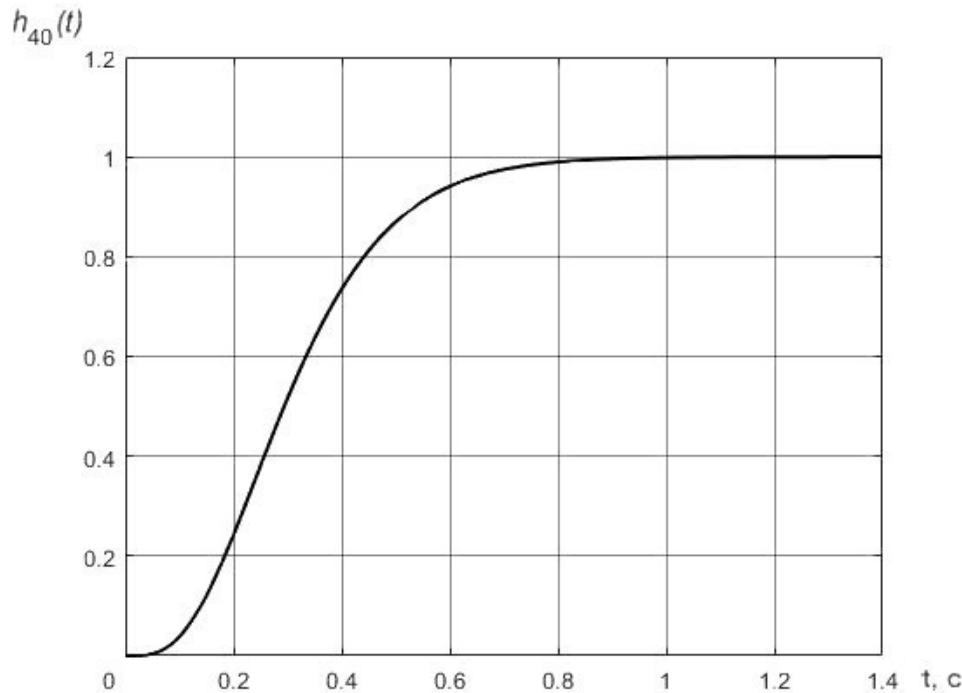


Рисунок 1 – Переходная характеристика двухмассовой упругой электромеханической системы с кратными корнями характеристического уравнения

Передаточная функция системы четвертого порядка с тремя кратными корнями характеристического уравнения имеет вид:

$$W_{40}(p) = \frac{1}{(T_1 p + 1)^3 (T_2 p + 1)}, \quad (11)$$

где T_1, T_2 – постоянные времени полинома знаменателя передаточной функции четвертого порядка.

Для упрощения расчетов примем $T_2 = \alpha T_1$, тогда приравняв (1) и (11), получим систему уравнений (12–15):

$$\frac{L_A J_2}{C_g C_M C_y} = \alpha T_1^4; \quad (12)$$

$$\frac{R_{\pi} J_1 J_2}{C_{\pi} C_M C_y} = (1 + 3\alpha) \cdot T_1^3; \quad (13)$$

$$\frac{L_{\pi}(J_1 + J_2)}{C_{\pi} C_M} + \frac{J_2}{C_y} = 3 \cdot (1 + \alpha) \cdot T_1^2; \quad (14)$$

$$\frac{R_{\pi}(J_1 + J_2)}{C_{\pi} C_M} = (3 + \alpha) \cdot T_1. \quad (15)$$

Так как число неизвестных больше числа независимых уравнений системы, то решение такой системы уравнений может быть найдено как зависимость.

Из уравнений (12) и (13) получим:

$$\frac{L_{\pi}}{R_{\pi}} = \frac{\alpha}{1 + 3\alpha} T_1. \quad (16)$$

Из уравнений (14), (15) и (16) получим:

$$\frac{J_2}{C_y} = \frac{3 + 9\alpha + 8\alpha^2}{1 + 3\alpha} T_1^2. \quad (17)$$

Из уравнений (13) и (17) получим:

$$\frac{R_{\pi} J_1}{C_{\pi} C_M} = \frac{(1 + 3\alpha)^2}{3 + 9\alpha + 8\alpha^2} T_1. \quad (18)$$

Из уравнений (15) и (18) получим:

$$\frac{R_{\pi} J_2}{C_{\pi} C_M} = 8 \cdot \frac{(1 + 3\alpha)^3}{3 + 9\alpha + 8\alpha^2} T_1. \quad (19)$$

Из уравнений (18) и (19) получим:

$$I_1 = \frac{1(1 + 3\alpha)^3}{8(1 + \alpha)^3} J_2. \quad (20)$$

Из уравнения (19) получим:

$$T_1 = \frac{1}{8} \cdot \frac{3 + 9\alpha + 8\alpha^2}{(1 + \alpha)^3} \cdot \frac{R_{\pi} J_2}{C_{\pi} C_M}. \quad (21)$$

Из уравнений (16) и (21) получим:

$$L_{\pi} = \frac{1}{8} \cdot \frac{\alpha}{1 + 3\alpha} \cdot \frac{3 + 9\alpha + 8\alpha^2}{(1 + 3\alpha)^3} \cdot \frac{R_{\pi}^2 J_2}{C_{\pi} C_M}$$

Из уравнений (17) и (21) получим:

$$C_y = 64 \cdot \frac{(1 + \alpha)^6 (1 + 3\alpha)}{(3 + 9\alpha + 8\alpha^2)^3} \cdot \frac{C_{\pi}^2 C_M^2}{R_{\pi}^2 J_2}$$

Электромеханическая постоянная времени равна:

$$T_M = \frac{R_{\pi}(J_1 + J_2)}{C_{\pi} C_M}$$

Электрическая постоянная времени равна:

$$T_{\pi} = \frac{L_{\pi}}{R_{\pi}}$$

Результирующий момент инерции равен:

$$I = I_1 + J_2$$

Переходная характеристика системы четвертого порядка с тремя кратными корнями имеет вид:

$$h_{40}(t) = -\frac{T_1(T_1^2 - 3T_1T_2 + 3T_2^2)}{(T_1 - T_2)^3} \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{T_1 - 2T_2}{(T_1 - T_2)^2} \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{1}{2T_1(T_1 - T_2)} \cdot t^2 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \frac{T_2^3}{(T_1 - T_2)^3} \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} + 1.$$

Рассмотрим трехмассовую упругую электромеханическую систему с параметрами $C_{\varphi} = 1,25 \frac{\text{В} \cdot \text{с}}{\text{рад}}$, $C_M = 1,25 \text{ В} \cdot \text{с}$, $R_{\text{я}} = 5 \text{ Ом}$, $J_2 = 0,08 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$. Определим варьируемые параметры двухмассовой упругой электромеханической системы, при которых её передаточная функция имеет три кратных корня характеристического уравнения.

Если $\alpha = 1$, то

$$J_1 = 0,02 \text{ кг} \cdot \text{м}^2; T_1 = 0,08 \text{ с}; T_2 = 0,08 \text{ с}; L_{\text{я}} = 0,1 \text{ Гн};$$

$$C_{\gamma} = 2,5 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{рад}}; T_{\text{м}} = 0,32 \text{ с}; T_{\text{я}} = 0,02 \text{ с}; J = 0,1 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

$$h_{40}(t) = -1 \cdot e^{-12,5t} - 12,5 \cdot t \cdot e^{-12,5t} - 78,125 \cdot t^2 \cdot e^{-12,5t} - 325,521 \cdot t^3 \cdot e^{-12,5t} + 1.$$

Если $\alpha = 0,9$, то

$$J_1 = 0,019959177 \text{ кг} \cdot \text{м}^2; T_1 = 0,082017786 \text{ с}; T_2 = 0,073816008 \text{ с};$$

$$L_{\text{я}} = 0,099751362 \text{ Гн}; C_{\gamma} = 2,502976361 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{рад}}; T_{\text{м}} = 0,319869366 \text{ с};$$

$$T_{\text{я}} = 0,019950272 \text{ с}; J = 0,099959177 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Если $\alpha = 0,8$ то

$$J_1 = 0,019821673 \text{ кг} \cdot \text{м}^2; T_1 = 0,084060356 \text{ с}; T_2 = 0,067248284 \text{ с};$$

$$L_{\text{я}} = 0,098894537 \text{ Гн}; C_{\gamma} = 2,512625032 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{рад}}; T_{\text{м}} = 0,319429353 \text{ с};$$

$$T_{\text{я}} = 0,019778907 \text{ с}; J = 0,099821673 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Если $\alpha = 0,7$ то

$$J_1 = 0,01956035 \text{ кг} \cdot \text{м}^2; T_1 = 0,086106248 \text{ с}; T_2 = 0,060274373 \text{ с};$$

$$L_{\text{я}} = 0,097216732 \text{ Гн}; C_{\gamma} = 2,530176904 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{рад}}; T_{\text{м}} = 0,31859312 \text{ с};$$

$$T_{\text{я}} = 0,019443346 \text{ с}; J = 0,09956035 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Если $\alpha = 0,6$ то

$$J_1 = 0,019140625 \text{ кг} \cdot \text{м}^2; T_1 = 0,088125 \text{ с}; T_2 = 0,052875 \text{ с};$$

$$L_{\text{я}} = 0,094419642 \text{ Гн}; C_{\gamma} = 2,55705847 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{рад}}; T_{\text{м}} = 0,31725 \text{ с};$$

$$T_{\text{я}} = 0,018883928 \text{ с}; J = 0,099140625 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Если $\alpha = 0,5$ то

$$J_1 = 0,018518518 \text{ кг} \cdot \text{м}^2; T_1 = 0,090074074 \text{ с}; T_2 = 0,045037037 \text{ с};$$

$$L_{\text{я}} = 0,090074074 \text{ Гн}; C_{\gamma} = 2,594817257 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{рад}}; T_{\text{м}} = 0,315259257 \text{ с};$$

$$T_{\text{я}} = 0,018014814 \text{ с}; J = 0,098518518 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Если $\alpha = 0,4$ то

$$J_1 = 0,017638483 \text{ кг} \cdot \text{м}^2; T_1 = 0,091895043 \text{ с}; T_2 = 0,036758017 \text{ с};$$

$$L_{\text{я}} = 0,083540948 \text{ Гн}; C_{\gamma} = 2,644857468 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{рад}}; T_{\text{м}} = 0,312443145 \text{ с};$$

$$T_{\text{я}} = 0,016708189 \text{ с}; J = 0,097638483 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Если $\alpha = 0,3$ то

$$L_{\text{я}} = 0,073823155 \text{ Гн}; C_{\text{y}} = 2,707688254 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{рад}}; T_{\text{м}} = 0,30858079 \text{ с};$$

$$T_{\text{я}} = 0,014764631 \text{ с}; J = 0,096431497 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Если $\alpha = 0,2$ то

$$J_1 = 0,014814814 \text{ кг} \cdot \text{м}^2; T_1 = 0,094814814 \text{ с}; T_2 = 0,018962962 \text{ с};$$

$$L_{\text{я}} = 0,059259259 \text{ Гн}; C_{\text{y}} = 2,780914307 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{рад}}; T_{\text{с.м}} = 0,303407404 \text{ с};$$

$$T_{\text{я}} = 0,011851851 \text{ с}; J = 0,094814814 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Если $\alpha = 0,1$ то

$$J_1 = 0,01269722 \text{ кг} \cdot \text{м}^2; T_1 = 0,095687453 \text{ с}; T_2 = 9,568745304 \cdot 10^{-3} \text{ с};$$

$$L_{\text{я}} = 0,036802866 \text{ Гн}; C_{\text{y}} = 2,853910027 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{рад}}; T_{\text{м}} = 0,296631104 \text{ с};$$

$$T_{\text{я}} = 7,3605732 \cdot 10^{-3} \text{ с}; J = 0,09269722 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Если $\alpha = 1,1$ то

$$J_1 = 0,019965446 \text{ кг} \cdot \text{м}^2; T_1 = 0,078021811 \text{ с}; T_2 = 0,085823992 \text{ с};$$

$$L_{\text{я}} = 0,09979534 \text{ Гн}; C_{\text{y}} = 2,502663396 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{рад}}; T_{\text{м}} = 0,319889427 \text{ с};$$

$$T_{\text{я}} = 0,019959068 \text{ с}; J = 0,099965446 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Если $\alpha = 1,2$ то

$$J_1 = 0,019872276 \text{ кг} \cdot \text{м}^2; T_1 = 0,076093163 \text{ с}; T_2 = 0,091311795 \text{ с};$$

$$L_{\text{я}} = 0,099251951 \text{ Гн}; C_{\text{y}} = 2,510110514 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{рад}}; T_{\text{м}} = 0,319591283 \text{ с};$$

$$T_{\text{я}} = 0,01985039 \text{ с}; J = 0,099872276 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Если $\alpha = 1,3$ то

$$J_1 = 0,019733705 \text{ кг} \cdot \text{м}^2; T_1 = 0,074220432 \text{ с}; T_2 = 0,096486561 \text{ с};$$

$$L_{\text{я}} = 0,098455675 \text{ Гн}; C_{\text{y}} = 2,521634271 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{рад}}; T_{\text{м}} = 0,31914785 \text{ с};$$

$$T_{\text{я}} = 0,019691135 \text{ с}; J = 0,099733705 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Если $\alpha = 1,4$ то

$$J_1 = 0,019560185 \text{ кг} \cdot \text{м}^2; T_1 = 0,072407407 \text{ с}; T_2 = 0,10137037 \text{ с};$$

$$L_{\text{я}} = 0,097471509 \text{ Гн}; C_{\text{y}} = 2,536650248 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{рад}}; T_{\text{м}} = 0,318592592 \text{ с};$$

$$T_{\text{я}} = 0,0194943301 \text{ с}; J = 0,099560185 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Если $\alpha = 1,5$ то

$$J_1 = 0,01936 \text{ кг} \cdot \text{м}^2; T_1 = 0,070656 \text{ с}; T_2 = 0,105984 \text{ с};$$

$$L_{\text{я}} = 0,09634909 \text{ Гн}; C_{\text{y}} = 2,554673992 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{рад}}; T_{\text{м}} = 0,317952 \text{ с};$$

$$T_{\text{я}} = 0,019269818 \text{ с}; J = 0,09936 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Если $\alpha = 1,6$ то

$$J_1 = 0,019139736 \text{ кг} \cdot \text{м}^2; T_1 = 0,068966772 \text{ с};$$

$$T_2 = 0,110346836 \text{ с}; L_{\text{я}} = 0,095126583 \text{ Гн};$$

$$C_{\text{y}} = 2,575302211 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{рад}}; T_{\text{м}} = 0,317247155 \text{ с};$$

$$T_{\text{я}} = 0,019025316 \text{ с}; J = 0,099139736 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Если $\alpha = 1,7$ то

$$J_1 = 0,018904638 \text{ кг} \cdot \text{м}^2; T_1 = 0,067339328 \text{ с}; T_2 = 0,114476858 \text{ с};$$

$$L_{\text{н}} = 0,09383349 \text{ Гн}; C_y = 2,598197536 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{рад}}; T_{\text{н}} = 0,316494841 \text{ с};$$

$$T_{\text{н}} = 0,018766698 \text{ с}; J = 0,098904638 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Если $\alpha = 1,8$ то

$$J_1 = 0,018658892 \text{ кг} \cdot \text{м}^2; T_1 = 0,065772594 \text{ с}; T_2 = 0,11839067 \text{ с};$$

$$L_{\text{н}} = 0,092492711 \text{ Гн}; C_y = 2,605712632 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{рад}}; T_{\text{н}} = 0,315708454 \text{ с};$$

$$T_{\text{н}} = 0,018498542 \text{ с}; J = 0,098658892 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Если $\alpha = 1,9$ то

$$J_1 = 0,018405838 \text{ кг} \cdot \text{м}^2; T_1 = 0,064265037 \text{ с}; T_2 = 0,122103571 \text{ с};$$

$$L_{\text{н}} = 0,091122068 \text{ Гн}; C_y = 2,649698611 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{рад}}; T_{\text{н}} = 0,314898681 \text{ с};$$

$$T_{\text{н}} = 0,018224413 \text{ с}; J = 0,098405838 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Если $\alpha = 2$, то

$$J_1 = 0,018148148 \text{ кг} \cdot \text{м}^2; T_1 = 0,062814814 \text{ с}; T_2 = 0,125629629 \text{ с};$$

$$L_{\text{н}} = 0,089735449 \text{ Гн}; C_y = 2,677860751 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{рад}}; T_{\text{н}} = 0,314074073 \text{ с};$$

$$T_{\text{н}} = 0,017947089 \text{ с}; J = 0,098148148 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Полученная аналитические зависимости изображены на рисунках 2–6.

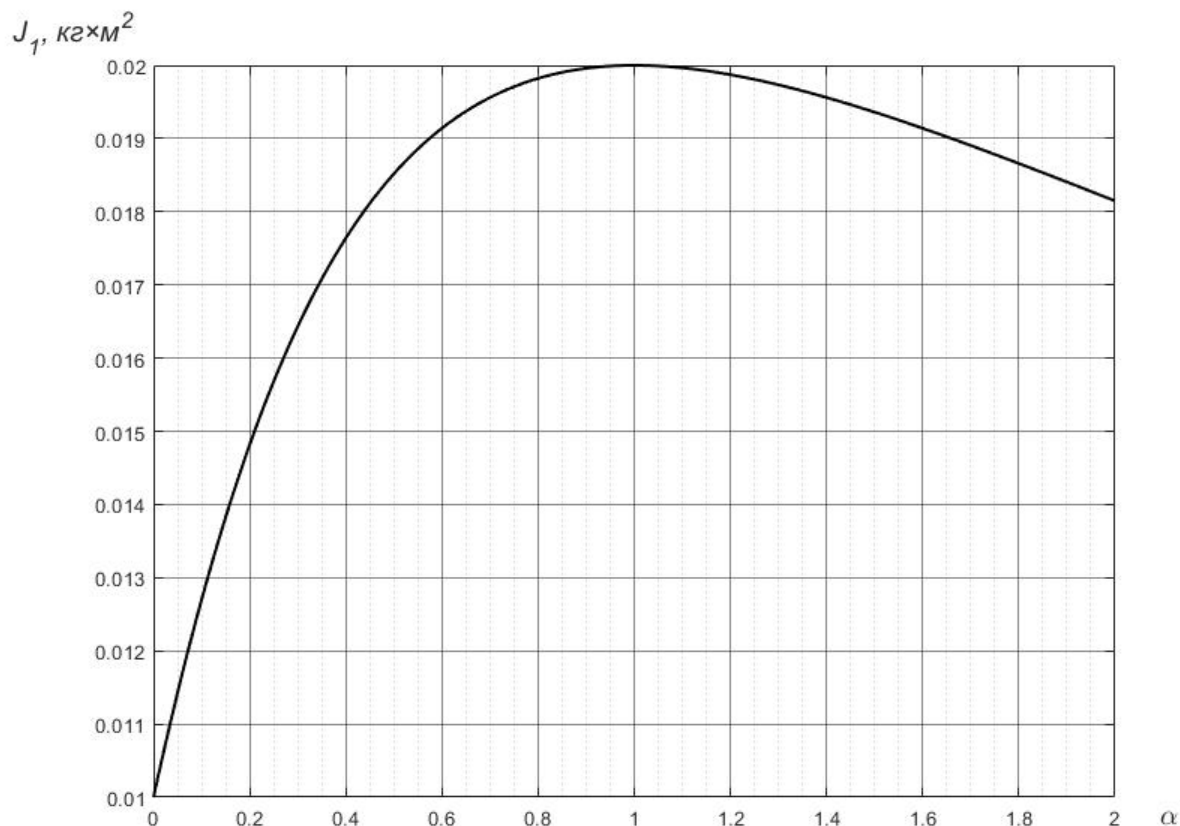


Рисунок 2 – Момент инерции двигателя двухмассовой упругой электромеханической системы с тремя кратными корнями характеристического уравнения

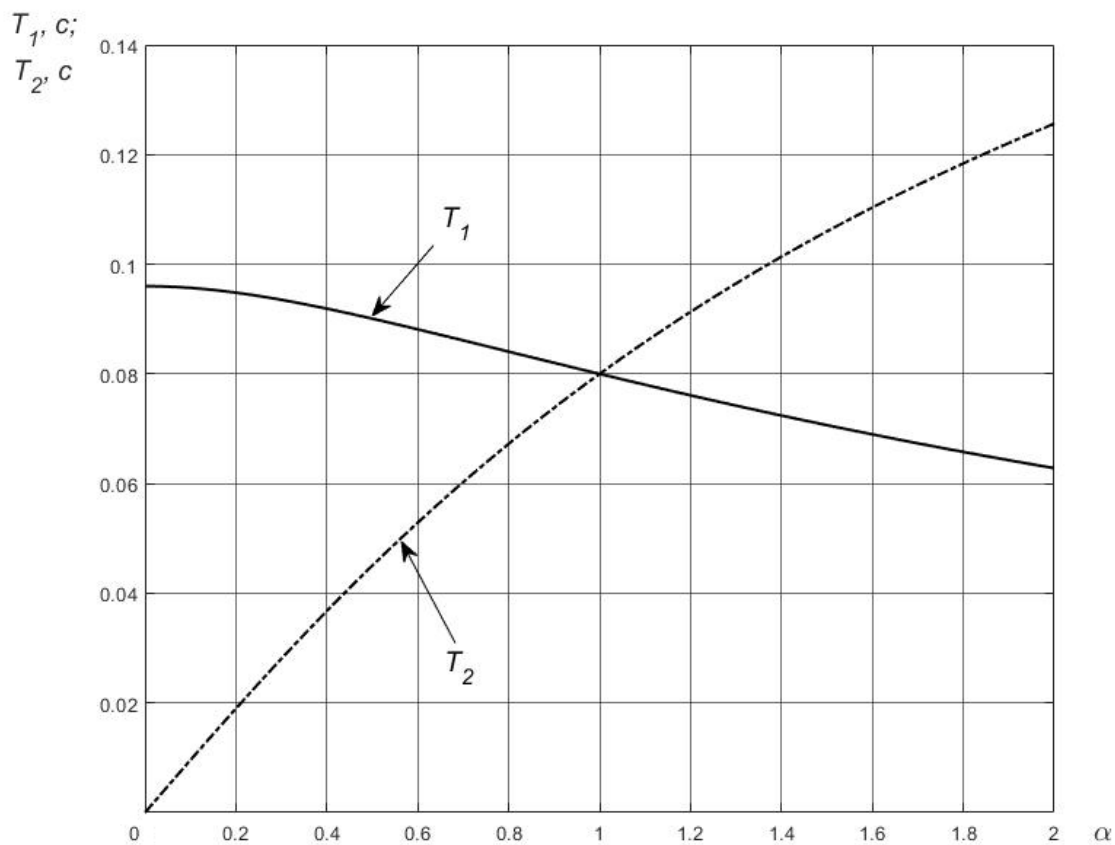


Рисунок 3 – Постоянный времени двухмассовой упругой электромеханической системы с тремя кратными корнями характеристического уравнения

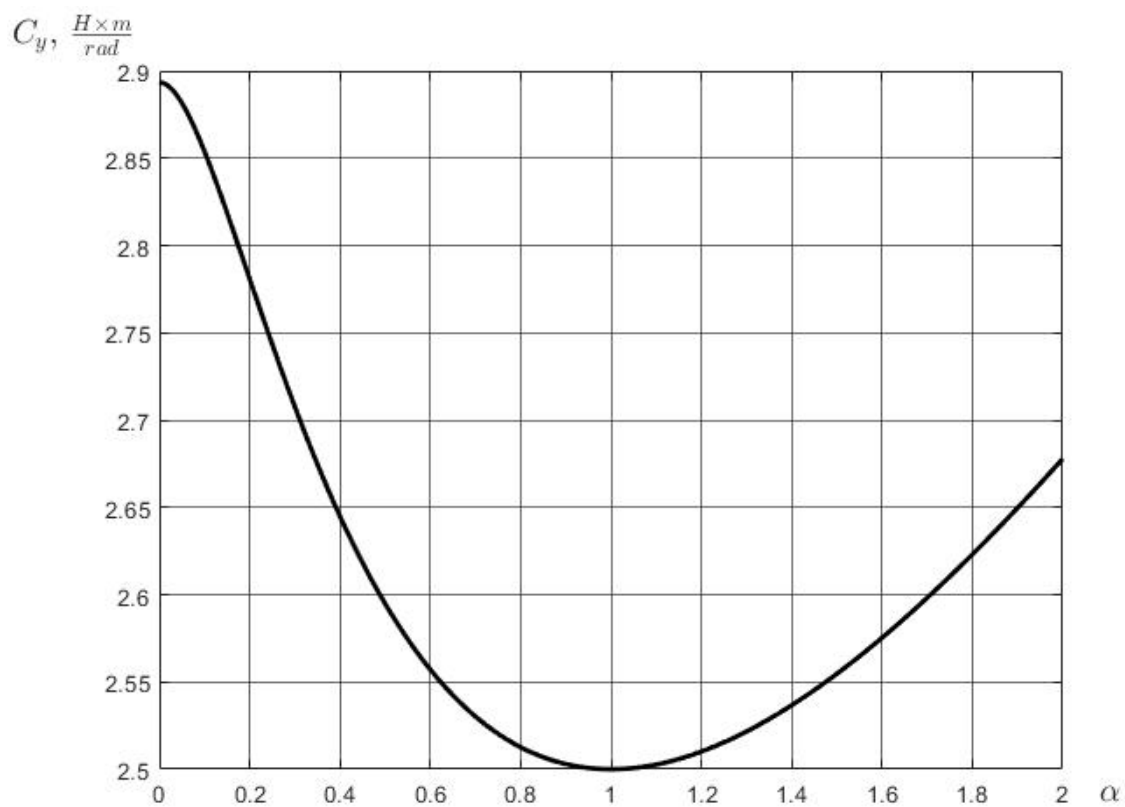


Рисунок 4 – Коэффициент упругости двухмассовой упругой электромеханической системы с тремя кратными корнями характеристического уравнения

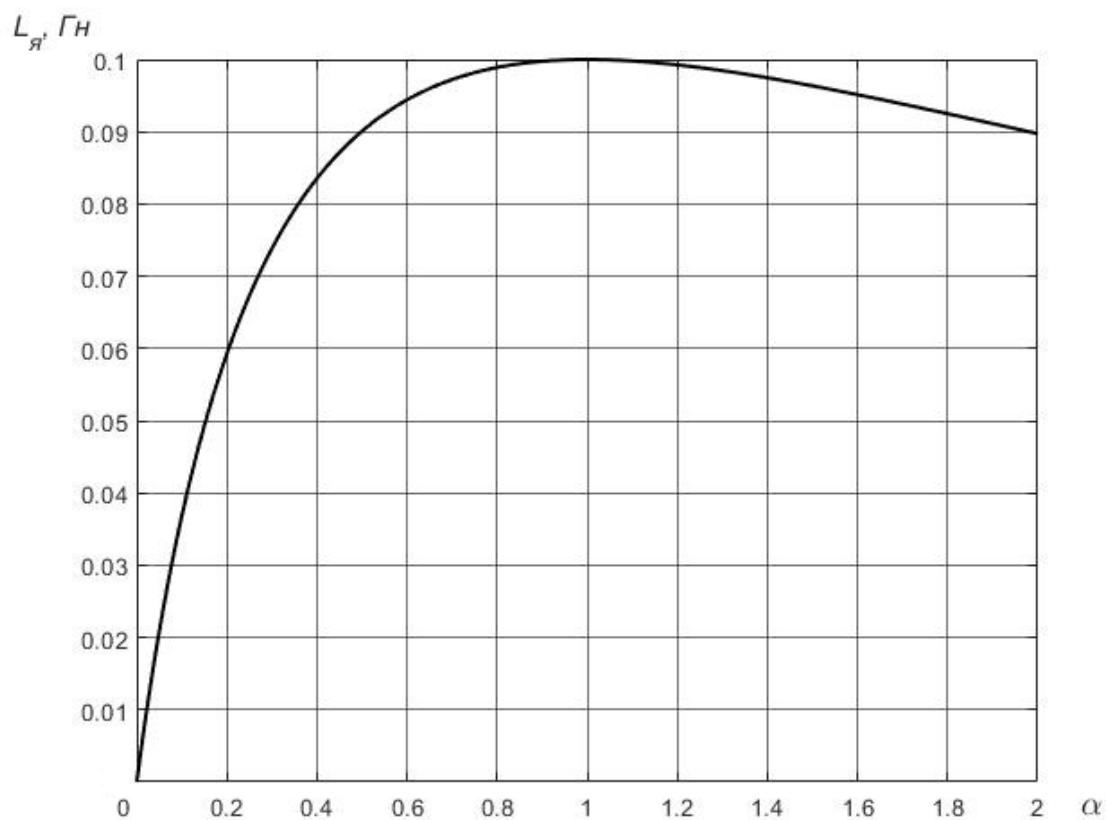


Рисунок 5 – Индуктивность якорной цепи двигателя двухмассовой упругой электромеханической системы с тремя кратными корнями характеристического уравнения

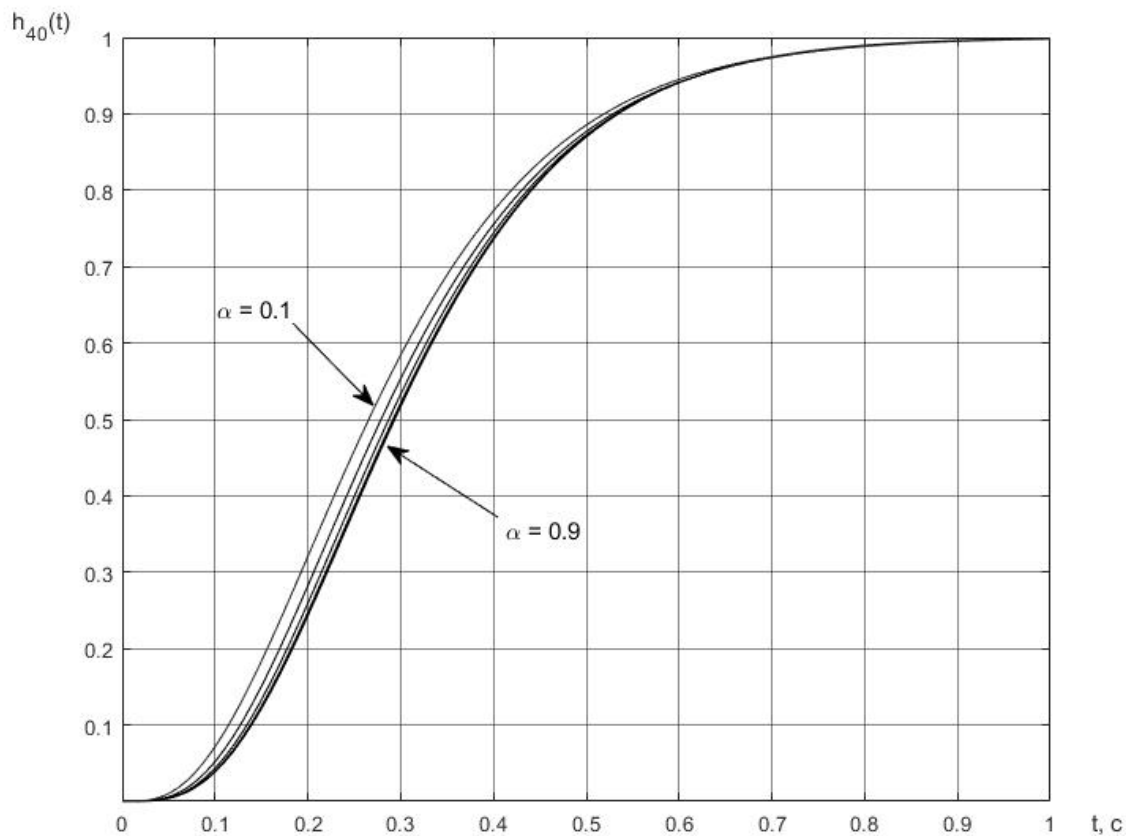


Рисунок 6 – Семейство переходных характеристик двухмассовой упругой электромеханической системы с тремя кратными корнями характеристического уравнения для $T_1 > T_2$

Вывод: Определены параметры двухмассовой упругой электромеханической системы соответствующие передаточной функции с двумя кратными корнями характеристического уравнения. Определена переходная характеристика двухмассовой упругой электромеханической системы с двумя кратными корнями характеристического уравнения.

Литература

1. Добробаба Ю.П., Мурлин А.Г., Серкин А.Д. Анализ переходных характеристик систем четвертого порядка с кратными корнями характеристического уравнения // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2019. – № 1. – С. 417–422.
2. Добробаба Ю.П., Асланова Д.А., Печёнкин О. А. Двухмассовая упругая электромеханическая система с четырьмя кратными корнями характеристического уравнения // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2021. – № 4. – С. 63–65.
3. Добробаба Ю.П., Асланова Д.А., Печёнкин О. А. Двухмассовая упругая электромеханическая система с тремя кратными корнями характеристического уравнения // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2021. – № 4. – С. 66–70.

References

1. Dobrobaba Yu.P., Murlin A.G., Serkin A.D. The analysis of transitional features of the system of the fourth order with multiple roots of the characteristic equation // Science. Engineering. Technology (polytechnical bulletin). – 2019. – № 1. – P. 417–422.
2. Dobrobaba Yu.P., Aslanova D.A., Pechonkin O.A. Two-mass elastic electromechanical system with four multiple roots of the characteristic equation // Science. Engineering. Technology (polytechnical bulletin). – 2021. – № 4. – P. 63–65.
3. Dobrobaba Yu.P., Aslanova D.A., Pechonkin O.A. Two-mass elastic electromechanical system with three multiple roots of the characteristic equation // Science. Engineering. Technology (polytechnical bulletin). – 2021. – № 4. – P. 66–70.