

УДК 62

**ТРЕХМАССОВАЯ УПРУГАЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА
(БЕЗ УЧЕТА ВЛИЯНИЯ ИНДУКТИВНОСТИ ЯКОРНОЙ ЦЕПИ) С ПЯТЬЮ
КРАТНЫМИ КОРНЯМИ ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ**



**THREE-MASS ELASTIC ELECTROMECHANICAL SYSTEM (WITH OUT TAKING
INTO ACCOUNT THE INFLUENCE OF THE ANCHOR CIRCUIT INDUCTANCE)
WITH FIVE CROSS ROOTS OF THE CHARACTERISTIC EQUATION**

Добробаба Юрий Петрович

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

Чувиллин Никита Александрович

студент,
Кубанский государственный технологический университет

Аннотация. В данной статье определены параметры трехмассовой упругой электромеханической системы (без учета влияния индуктивности якорной цепи), при которых ее передаточная функция имеет пять кратных корней характеристического уравнения.

Трехмассовая упругая электромеханическая система обеспечивает предельное быстродействие переходных процессов без перерегулирования [1].

Ключевые слова: трехмассовая упругая электромеханическая система пятого порядка, передаточная функция.

Dobrobaba Yury Petrovich

Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor, Associate Professor
of Department of Power Supply Industrial
Enter Prises,
Kuban State Technological University

Chuvilin Nikita Aleksandrovich

Student,
Kuban State Technological University

Annotation. This article defines the parameters of a three-mass elastic electromechanical system (without taking into account the influence of the inductance of the armature circuit), at which its transfer function has five multiple roots of the characteristic equation.

Three-mass elastic electromechanical system provides maximum transient response without overshoot [1].

Keywords: three-mass elastic electromechanical system of the fifth order, transfer function.

Н а первой стадии исследований электромеханических систем с упругим валопроводом разработаны и исследованы переходные характеристики систем четвертого и пятого порядков [2], [3], [4], [5], [6].

Первый этап работ позволяет перейти ко второму этапу и разработать алгоритмы для конкретных электромеханических систем.

Математическая модель трехмассовой упругой электромеханической системы (без учета влияния индуктивности якорной цепи) имеет вид:

$$\begin{cases} U = C_e \omega_1 + R_{я} I_{я}; \\ C_M I_{я} = M_{y1} + J_1 p \omega_1; \\ M_{y1} = M_{y2} + J_2 p \omega_2; \\ M_{y2} = M_{co} + J_3 p \omega_3; \\ p M_{y1} = C_{y1} \cdot (\omega_1 - \omega_2); \\ p M_{y2} = C_{y2} \cdot (\omega_2 - \omega_3). \end{cases} \quad (1)$$

Передаточная функция для трехмассовой упругой электромеханической системы (без учета влияния индуктивности якорной цепи) имеет вид:

$$W_{50}(p) = \frac{1}{B_5 p^5 + B_4 p^4 + B_3 p^3 + B_2 p^2 + B_1 p + 1}, \quad (2)$$

где

$$B_1 = \frac{R_{я}(J_1 + J_2 + J_3)}{C_e C_M}; \quad B_2 = \frac{J_2}{C_{y1}} + \frac{J_3}{C_{y1}} + \frac{J_3}{C_{y2}};$$

$$B_3 = \frac{R_{я}}{C_e C_M} \cdot \left(\frac{J_1 J_2}{C_{y1}} + \frac{J_1 J_3}{C_{y1}} + \frac{J_1 J_3}{C_{y2}} + \frac{J_2 J_3}{C_{y2}} \right); \quad B_4 = \frac{J_2 J_3}{C_{y1} C_{y2}}; \quad B_5 = \frac{R_{я} J_1 J_2 J_3}{C_e C_M C_{y1} C_{y2}}.$$

Передаточная функция системы пятого порядка с пятью кратными корнями характеристического уравнения имеет вид:

$$W_{50}(p) = \frac{1}{(Tp+1)^5};$$

или

$$W_{50}(p) = \frac{1}{T^5 p^5 + 5T^4 p^4 + 10T^3 p^3 + 10T^2 p^2 + 5Tp + 1}, \quad (3)$$

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

Приравняв (2) и (3), получим систему уравнений:

$$\frac{R_{я} J_1 J_2 J_3}{C_e C_M C_{y1} C_{y2}} = T^5; \quad (4)$$

$$\frac{J_2 J_3}{C_{y1} C_{y2}} = 5T^4; \quad (5)$$

$$\frac{R_{я}}{C_e C_M} \cdot \left(\frac{J_1 J_2}{C_{y1}} + \frac{J_1 J_3}{C_{y1}} + \frac{J_1 J_3}{C_{y2}} + \frac{J_2 J_3}{C_{y2}} \right) = 10T^3; \quad (6)$$

$$\left(\frac{J_2}{C_{y1}} + \frac{J_3}{C_{y1}} + \frac{J_3}{C_{y2}} \right) = 10T^2; \quad (7)$$

$$\frac{R_{я}(J_1 + J_2 + J_3)}{C_e C_M} = 5T. \quad (8)$$

Из уравнений (4) и (5) получим:

$$\frac{R_{я} J_1}{C_e C_M} = \frac{1}{5} T. \quad (9)$$

Из уравнений (6), (7) и (9) получим:

$$\frac{R_{я} J_2 J_3}{C_e C_M C_{y2}} = 8T^3. \quad (10)$$

Из уравнений (5) и (10) получим:

$$\frac{C_e C_M}{R_{я} C_{y1}} = 0,625T. \quad (11)$$

Из уравнений (8) и (9) получим:

$$(J_2 + J_3) = 4,8 \cdot \frac{C_e C_M}{R_{я}} \cdot T. \quad (12)$$

Из уравнений (7), (11) и (12) получим:

$$\frac{J_3}{C_{y2}} = 7T^2. \quad (13)$$

Из уравнений (5) и (13) получим:

$$\frac{J_2}{C_{y1}} = \frac{5}{7} T^2. \quad (14)$$

Из уравнений (10) и (13) получим:

$$\frac{R_{я} J_2}{C_e C_M} = \frac{8}{7} T. \quad (15)$$

После ряда преобразований получаем выражения:

$$T = \frac{35}{128} \cdot \frac{R_{я} J_3}{C_e C_M}; \quad (16)$$

$$J_1 = \frac{7}{128} \cdot J_3;$$

$$J_2 = \frac{5}{16} \cdot J_3;$$

$$C_{y1} = \frac{1024}{175} \cdot \frac{C_e^2 C_M^2}{R_{я}^2 J_3};$$

$$C_{y2} = \frac{16384}{8575} \cdot \frac{C_e^2 C_M^2}{R_{я}^2 J_3}$$

Для трехмассовой упругой электромеханической системы (без учета влияния индуктивности якорной цепи) с параметрами $C_e = 1,25 \frac{В \cdot с}{рад}$, $C_M = 1,25 В \cdot с$, $R_{я} = 5 \text{ Ом}$, $J_3 = 0,08 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ определим параметры, соответствующие передаточной функции с пятью кратными корнями характеристического уравнения.

$$J_1 = \frac{7}{128} J_3 = \frac{7}{128} \cdot 0,08 = 0,004375 \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$$

$$J_2 = \frac{5}{16} J_3 = \frac{5}{16} \cdot 0,08 = 0,025 \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$$

$$T = \frac{35}{128} \cdot \frac{R_{я} J_3}{C_e C_M} = \frac{35}{128} \cdot \frac{5 \cdot 0,08}{1,25 \cdot 1,25} = 0,07 \text{ с};$$

$$C_{y1} = \frac{1024}{175} \cdot \frac{C_e^2 C_M^2}{R_{я}^2 J_3} = \frac{1024}{175} \cdot \frac{1,25^2 \cdot 1,25^2}{5^2 \cdot 0,08} = \frac{50 \text{ Н} \cdot \text{м}}{7 \text{ рад}};$$

$$C_{y2} = \frac{16384}{8575} \cdot \frac{C_e^2 C_M^2}{R_{я}^2 J_3} = \frac{16384}{8575} \cdot \frac{1,25^2 \cdot 1,25^2}{5^2 \cdot 0,08} = \frac{800 \text{ Н} \cdot \text{м}}{343 \text{ рад}};$$

$$T_M = \frac{R_{я}(J_1 + J_2 + J_3)}{C_e C_M} = \frac{5}{1,25 \cdot 1,25} \cdot (0,004375 + 0,025 + 0,08) = 0,35 \text{ с};$$

$$J = J_1 + J_2 + J_3 = 0,004375 + 0,025 + 0,08 = 0,109375 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{рад}}$$

Вывод:

Разработан алгоритм определения параметров трехмассовой упругой электромеханической системы (без учета влияния индуктивности якорной цепи), соответствующие передаточной функции с пятью кратными корнями характеристического уравнения.

Литература

1. Добробаба Ю.П., Мурлина А.Г., Серкин А.Д. Анализ переходных характеристик системы пятого порядка с кратными корнями характеристического уравнения // Наука. Техника. Технологии (Политехнический вестник). – 2019. – № 1. – С. 423–429.
2. Добробаба Ю.П., Мурлина В.А., Чувилин Н.А. Анализ переходных характеристик системы пятого порядка с одним корнем кратностью четыре и с одним корнем кратностью один характеристического уравнения // Наука. Техника. Технологии (Политехнический вестник). – 2020. – № 4. – С. 386–392.
3. Добробаба Ю.П., Мурлина В.А., Чувилин Н.А. Анализ переходных характеристик системы пятого порядка с одним корнем кратностью три и с одним корнем кратностью два характеристического уравнения // Наука. Техника. Технологии (Политехнический вестник). – 2021. – № 1. – С. 61–67.
4. Добробаба Ю.П., Мурлина В.А., Чувилин Н.А. Анализ переходных характеристик системы пятого порядка с одним корнем кратностью три и с двумя корнями кратностью один характеристического уравнения // Наука. Техника. Технологии (Политехнический вестник). – 2021. – № 1. – С. 68–74.
5. Добробаба Ю.П., Мурлина В.А., Чувилин Н.А. Анализ переходных характеристик системы пятого порядка с двумя корнями кратностью два и с одним корнем кратностью один характеристического уравнения // Наука. Техника. Технологии (Политехнический вестник). – 2021. – № 1. – С. 75–81.
6. Добробаба Ю.П., Мурлина В.А., Чувилин Н.А. Анализ переходных характеристик системы пятого порядка с пятью корнями кратностью один характеристического уравнения // Наука. Техника. Технологии (Политехнический вестник). – 2021. – № 2. – С. 64–68.

References

1. Dobrobaba Yu.P., Murlin A.G., Serkin A.D. Analysis of the transient characteristics of a fifth-order system with multiple roots of the characteristic equation // Nauka. Technics. Technologies (Polytechnic Bulletin) . – 2019. – № 1. – P. 423–429.

2. Dobrobaba Yu.P., Murlina V.A., Chuvilin N.A. Analysis of the transient characteristics of a fifth-order system with one root of multiplicity four and with one root of multiplicity one of the characteristic equation // Nauka. Technics. Technologies (Polytechnic Bulletin). – 2020. – № 4. – P. 386–392.
3. Dobrobaba Yu.P., Murlina V.A., Chuvilin N.A. Analysis of the transient characteristics of a fifth-order system with one root of multiplicity three and with one root of multiplicity two of the characteristic equation // Nauka. Technics. Technologies (Polytechnic Bulletin). – 2021. – № 1. – P. 61–67.
4. Dobrobaba Yu.P., Murlina V.A., Chuvilin N.A. Analysis of the transient characteristics of a fifth-order system with one root of multiplicity three and with two roots of multiplicity one of the characteristic equation // Nauka. Technics. Technologies (Polytechnic Bulletin). – 2021. – № 1. – P. 68–74.
5. Dobrobaba Yu.P., Murlina V.A., Chuvilin N.A. Analysis of the transient characteristics of a fifth-order system with two roots of multiplicity two and with one root of multiplicity one of the characteristic equation // Nauka. Technics. Technologies (Polytechnic Bulletin). – 2021. – № 1. – P. 75–81.
6. Dobrobaba Yu.P., Murlina V.A., Chuvilin N.A. Analysis of the transient characteristics of a fifth-order system with five roots of multiplicity one of the characteristic equation // Nauka. Technics. Technologies (Polytechnic Bulletin). – 2021. – № 2. – P. 64–68.