УДК 62

АНАЛИЗ ПЕРЕХОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМЫ ПЯТОГО ПОРЯДКА С ОДНИМ КОРНЕМ КРАТНОСТЬЮ ТРИ И С ДВУМЯ КОРНЯМИ КРАТНОСТЬЮ ОДИН ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ

♦♦♦♦♦

ANALYSIS OF TRANSITIONAL CHARACTERISTICS OF THE FIFTH ORDER SYSTEM WITH ONE ROOT MULTIPLE THREE AND WITH ONE ROOT MULTIPLE TWO OF THE CHARACTERISTIC EQUATION

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

Dobrobaba Yury Petrovich
Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor,
Associate Professor of Department
of Power Supply Industrial Enterprises,
Kuban State Technological University

Мурлина Владислава Анатольевна
кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры
информационных систем
и программирования,
Кубанский государственный
технологический университет

Murlina Vladislava Anatolievna
Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor,
Associate Professor of the Department
of Information Systems and Programming,
Kuban State Technological University

Чувилин Никита Александрович
студент,
Кубанский государственный
технологический университет

Chuvilin Nikita Aleksandrovich
Student,
Kuban State Technological University

Аннотация. Определены переходные характеристики системы пятого порядка с одним корнем кратностью три и с двумя корнями кратностью один характеристического уравнения с полиномом нулевой степени и с полиномом первой степени числителя передаточной функции.

Доказано, что переходные характеристики системы пятого порядка с одним корнем кратностью три и с двумя корнями кратностью один характеристического уравнения с полиномом первой степени не имеют перерегулирование при условии: постоянная времени полинома числителя передаточной функции пятого порядка меньше или равна большей постоянной времени знаменателя передаточной функции.

Ключевые слова: переходная характеристика, характеристическое уравнение системы пятого порядка, корни характеристического уравнения.

Annotation. Transient characteristics of the fifth-order system with one root of multiplicity three and with two roots of multiplicity one of the characteristic equation with a polynomial of zero degree and with a polynomial of the first degree of the numerator of the transfer function are determined.

It is proved that 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 with a polynomial of the first degree do not have overshoot provided that the time constant of the polynomial of the numerator of the fifth order transfer function is less than or equal to the greater time constant of the denominator of the transfer function.

Keywords: transient response, characteristic equation of the fifth order system, roots of the characteristic equation.

В статье [1] выполнен анализ переходных характеристик систем пятого порядка с кратными корнями характеристического уравнения.

В данной работе анализируются переходные характеристики системы пятого порядка с одним корнем кратностью три и с двумя корнями кратностью один характеристического уравнения.

Передаточная функция систем пятого порядка с одним корнем кратностью три и с двумя корнями кратностью один характеристического уравнения:

$$W_{50}(p)=\frac{1}{(T_1p+1)^3\cdot(T_2p+1)\cdot(T_3p+1)},$$

где $T_1\neq T_2\neq T_3$ – постоянные времени полинома знаменателя передаточной функции пятого порядка.

Корни характеристического уравнения системы:

$$P_{1\div 3}=-\frac{1}{T_1};\ P_4=-\frac{1}{T_2};P_5=-\frac{1}{T_3}.$$

Переходная характеристика системы имеет вид:

$$h_{50}(t)=K_1\cdot e^{-\frac{t}{T_1}}+K_2\cdot t\cdot e^{-\frac{t}{T_1}}+K_3\cdot t^2\cdot e^{-\frac{t}{T_1}}+K_4\cdot e^{-\frac{t}{T_2}}+K_5\cdot e^{-\frac{t}{T_3}}+K_6.$$

Первая, вторая, третья и четвертая производные переходной характеристики системы пятого порядка с одним корнем кратностью три и с двумя корнями кратностью один характеристического уравнения имеют вид:

$$h_{50}^{(1)}(t)=\left(-\frac{K_1}{T_1}+K_2\right)\cdot e^{-\frac{t}{T_1}}+\left(-\frac{K_2}{T_1}+2K_3\right)\cdot t\cdot e^{-\frac{t}{T_1}}-\frac{K_3}{T_1}\cdot t^2\cdot e^{-\frac{t}{T_1}}-\frac{K_4}{T_2}\cdot e^{-\frac{t}{T_2}}-\frac{K_5}{T_3}\cdot e^{-\frac{t}{T_3}};$$

$$h_{50}^{(2)}(t)=\left(\frac{K_1}{T_1^2}-2\cdot\frac{K_2}{T_1}+2K_3\right)\cdot e^{-\frac{t}{T_1}}+\left(\frac{K_2}{T_1^2}-4\cdot\frac{K_3}{T_1}\right)\cdot t\cdot e^{-\frac{t}{T_1}}+$$
$$+\frac{K_3}{T_1^2}\cdot t^2\cdot e^{-\frac{t}{T_1}}+\frac{K_4}{T_2^2}\cdot e^{-\frac{t}{T_2}}+\frac{K_5}{T_3^2}\cdot e^{-\frac{t}{T_3}};$$

$$h_{50}^{(3)}(t)=\left(-\frac{K_1}{T_1^3}+3\cdot\frac{K_2}{T_1^2}-6\cdot\frac{K_3}{T_1}\right)\cdot e^{-\frac{t}{T_1}}+\left(-\frac{K_2}{T_1^3}+6\cdot\frac{K_3}{T_1^2}\right)\cdot t\cdot e^{-\frac{t}{T_1}}-$$
$$-\frac{K_3}{T_1^3}\cdot t^2\cdot e^{-\frac{t}{T_1}}-\frac{K_4}{T_2^3}\cdot e^{-\frac{t}{T_2}}-\frac{K_5}{T_3^3}\cdot e^{-\frac{t}{T_3}};$$

$$h_{50}^{(4)}(t)=\left(\frac{K_1}{T_1^4}-4\cdot\frac{K_2}{T_1^3}+12\cdot\frac{K_3}{T_1^2}\right)\cdot e^{-\frac{t}{T_1}}+\left(\frac{K_2}{T_1^4}-8\cdot\frac{K_3}{T_1^3}\right)\cdot t\cdot e^{-\frac{t}{T_1}}+$$
$$+\frac{K_3}{T_1^4}\cdot t^2\cdot e^{-\frac{t}{T_1}}+\frac{K_4}{T_2^4}\cdot e^{-\frac{t}{T_2}}+\frac{K_5}{T_3^4}\cdot e^{-\frac{t}{T_3}}.$$

Так как начальные и конечное значения системы пятого порядка (с точки зрения физики) имеют вид:

$$\begin{cases}h_{50}(0)=0;\\ h_{50}^{(1)}(0)=0;\\ h_{50}^{(2)}(0)=0;\\ h_{50}^{(3)}(0)=0;\\ h_{50}^{(4)}(0)=0;\\ h_{50}(\infty)=1,\end{cases}$$

а начальные и конечное значения системы пятого порядка (с точки зрения математики) имеют вид:

$$\begin{cases}h_{50}(0)=K_1+K_4+K_5+K_6;\\ h_{50}^{(1)}(0)=-\frac{K_1}{T_1}+K_2-\frac{K_4}{T_2}-\frac{K_5}{T_3};\\ h_{50}^{(2)}(0)=\frac{K_1}{T_1^2}-2\cdot\frac{K_2}{T_1}+2K_3+\frac{K_4}{T_2^2}+\frac{K_5}{T_3^2};\\ h_{50}^{(3)}(0)=-\frac{K_1}{T_1^3}+3\cdot\frac{K_2}{T_1^2}-6\cdot\frac{K_3}{T_1}-\frac{K_4}{T_2^3}-\frac{K_5}{T_3^3};\\ h_{50}^{(4)}(0)=\frac{K_1}{T_1^4}-4\cdot\frac{K_2}{T_1^3}+12\cdot\frac{K_3}{T_1^2}+\frac{K_4}{T_2^4}+\frac{K_5}{T_3^4};\\ h_{50}(\infty)=K_6,\end{cases}$$

то справедливы соотношения:

$$K_6=1;$$

$$\begin{cases} К_1 + К_4 + К_5 + 1 = 0; \\ -\frac{К_1}{Т_1} + К_2 - \frac{К_4}{Т_2} - \frac{К_5}{Т_3} = 0; \\ \frac{К_1}{Т_1^2} - 2 \cdot \frac{К_2}{Т_1} + 2К_3 + \frac{К_4}{Т_2^2} + \frac{К_5}{Т_3^2} = 0; \\ -\frac{К_1}{Т_1^3} + 3 \cdot \frac{К_2}{Т_1^2} - 6 \cdot \frac{К_3}{Т_1} - \frac{К_4}{Т_2^3} + -\frac{К_5}{Т_3^3} = 0; \\ \frac{К_1}{Т_1^4} - 4 \cdot \frac{К_2}{Т_1^3} + 12 \cdot \frac{К_3}{Т_1^2} + \frac{К_4}{Т_2^4} + \frac{К_5}{Т_3^4} = 0. \end{cases}$$

Остальные коэффициенты переходной характеристики системы пятого порядка с одним корнем кратностью три и с двумя корнями кратностью один характеристического уравнения имеют вид:

$$К_1 = -\frac{Т_1^4 - 3Т_1^3 \cdot (Т_2 + Т_3) + 3Т_1^2 \cdot (Т_2^2 + 3Т_2Т_3 + Т_3^2)}{(Т_1 - Т_2)^3 \cdot (Т_1 - Т_3)^3} - \rightarrow$$

$$\rightarrow -\frac{8Т_1Т_2Т_3 \cdot (Т_2 + Т_3) + 6Т_2^2Т_3^2}{(Т_1 - Т_2)^3 \cdot (Т_1 - Т_3)^3} \cdot Т_1^2;$$

$$К_2 = -\frac{Т_1^2 - 2Т_1 \cdot (Т_2 + Т_3) + 3Т_2Т_3}{(Т_1 - Т_2)^2 \cdot (Т_1 - Т_3)^2} \cdot Т_1;$$

$$К_3 = -\frac{1}{2 \cdot (Т_1 - Т_2) \cdot (Т_1 - Т_3)};$$

$$К_4 = \frac{Т_2^4}{(Т_1 - Т_2)^3 \cdot (Т_2 - Т_3)};$$

$$К_5 = -\frac{Т_3^4}{(Т_1 - Т_3)^3 \cdot (Т_2 - Т_3)}.$$

Таким образом, переходная характеристика системы пятого порядка с одним корнем кратностью три и с двумя корнями кратностью один характеристического уравнения и её первая производная соответственно равны:

$$h_{50}(t) = -\frac{Т_1^4 - 3Т_1^3 \cdot (Т_2 + Т_3) + 3Т_1^2 \cdot (Т_2^2 + 3Т_2 \cdot Т_3 + Т_3^2)}{(Т_1 - Т_2)^3 \cdot (Т_1 - Т_3)^3} - \frac{8Т_1Т_2Т_3 \cdot (Т_2 + Т_3) + 6Т_2^2Т_3^2}{(Т_1 - Т_2)^3 \cdot (Т_1 - Т_3)^3} \cdot Т_1^2 \cdot e^{-\frac{t}{Т_1}} -$$

$$-\frac{Т_1^2 - 2Т_1 \cdot (Т_2 + Т_3) + 3Т_2Т_3}{(Т_1 - Т_2)^2 \cdot (Т_1 - Т_3)^2} \cdot Т_1 \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{Т_1}} - \frac{1}{2 \cdot (Т_1 - Т_2) \cdot (Т_1 - Т_3)} \cdot t^2 \cdot e^{-\frac{t}{Т_1}} +$$

$$+\frac{Т_2^4}{(Т_1 - Т_2)^3 \cdot (Т_2 - Т_3)} \cdot e^{-\frac{t}{Т_2}} - \frac{Т_3^4}{(Т_1 - Т_3)^3 \cdot (Т_2 - Т_3)} \cdot e^{-\frac{t}{Т_3}} + 1;$$

$$h_{50}^{(1)}(t) = \frac{Т_1^2 \cdot (Т_2^2 + Т_2Т_3 + Т_3^2) - 3Т_1Т_2Т_3 \cdot (Т_2 + Т_3) + 3Т_2^2Т_3^2}{(Т_1 - Т_2)^3 \cdot (Т_1 - Т_3)^3} \cdot Т_1 \cdot e^{-\frac{t}{Т_1}} - \frac{Т_1 \cdot (Т_2 + Т_3) - 2Т_2Т_3}{(Т_1 - Т_2)^2 \cdot (Т_1 - Т_3)^2} \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{Т_1}} +$$

$$+\frac{1}{2Т_1 \cdot (Т_1 - Т_2) \cdot (Т_1 - Т_3)} \cdot t^2 \cdot e^{-\frac{t}{Т_1}} - \frac{Т_2^3}{(Т_1 - Т_2)^3 \cdot (Т_2 - Т_3)} \cdot e^{-\frac{t}{Т_2}} + \frac{Т_3^3}{(Т_1 - Т_3)^3 \cdot (Т_2 - Т_3)} \cdot e^{-\frac{t}{Т_3}}.$$

Передаточная функция системы пятого порядка с одним корнем кратностью три и с двумя корнями кратностью один характеристического уравнения с полиномом первой степени в числителе имеет вид:

$$W_{51}(p) = \frac{\tau p + 1}{(Т_1p + 1)^3 \cdot (Т_2p + 1) \cdot (Т_3p + 1)},$$

где τ – постоянная времени полинома числителя передаточной функции пятого порядка.

Переходная характеристика системы пятого порядка с одним корнем кратностью три и с двумя корнями кратностью один характеристического уравнения с полиномом первой степени в числителе имеет вид:

$$h_{51}(t) = \left[-\frac{Т_1^4 - 3Т_1^3 \cdot (Т_2 + Т_3) + 3Т_1^2 \cdot (Т_2^2 + 3Т_2Т_3 + Т_3^2)}{(Т_1 - Т_2)^3 \cdot (Т_1 - Т_3)^3} - \frac{8Т_1Т_2Т_3 \cdot (Т_2 + Т_3) + 6Т_2^2Т_3^2}{(Т_1 - Т_2)^3 \cdot (Т_1 - Т_3)^3} \cdot Т_1^2 + \right.$$

$$\left. +\frac{Т_1^2 \cdot (Т_2^2 + Т_2Т_3 + Т_3^2) - 3Т_1Т_2Т_3 \cdot (Т_2 + Т_3) + 3Т_2^2Т_3^2}{(Т_1 - Т_2)^3 \cdot (Т_1 - Т_3)^3} \cdot Т_1\tau \right] \cdot e^{-\frac{t}{Т_1}} -$$

$$-\left[\frac{T_1^2-2T_1\cdot(T_2+T_3)+3T_2T_3}{(T_1-T_2)^2\cdot(T_1-T_3)^2}\cdot T_1+\frac{T_1\cdot(T_2+T_3)-2T_2T_3}{(T_1-T_2)^2\cdot(T_1-T_3)^2}\cdot\tau\right]\cdot t\cdot e^{-\frac{t}{T_1}}+$$

$$+\left[-\frac{1}{2\cdot(T_1-T_2)\cdot(T_1-T_3)}+\frac{\tau}{2T_1\cdot(T_1-T_2)\cdot(T_1-T_3)}\right]\cdot t^2\cdot e^{-\frac{t}{T_1}}+$$

$$+\left[\frac{T_2^4}{(T_1-T_2)^3\cdot(T_2-T_3)}-\frac{T_2^3\tau}{(T_1-T_2)^3\cdot(T_2-T_3)}\right]\cdot e^{-\frac{t}{T_2}}+$$

$$+\left[-\frac{T_3^4}{(T_1-T_3)^3\cdot(T_2-T_3)}+\frac{T_3^3\tau}{(T_1-T_3)^3\cdot(T_2-T_3)}\right]\cdot e^{-\frac{t}{T_3}}+1.$$

Рассмотрим два варианта значения корней переходной характеристики системы пятого порядка с одним корнем кратностью три и с двумя корнями кратностью один характеристического уравнения с полиномом первой степени в числителе.

Вариант первый: $T_1 > T_2 > T_3$.

При этом, если $\tau = T_1$, то

$$h_{51}(t) = -\frac{T_1^2-2T_1\cdot(T_2+T_3)+3T_2T_3}{(T_1-T_2)^2\cdot(T_1-T_3)^2}\cdot T_1^2\cdot e^{-\frac{t}{T_1}}-\frac{T_1}{(T_1-T_2)\cdot(T_1-T_3)}\cdot t\times$$

$$\times e^{-\frac{t}{T_1}}-\frac{T_2^3}{(T_1-T_2)^2\cdot(T_2-T_3)}\cdot e^{-\frac{t}{T_2}}+\frac{T_3^3}{(T_1-T_3)^2\cdot(T_2-T_3)}\cdot e^{-\frac{t}{T_3}}+1.$$

Предположим $T_1 = \frac{1}{4}T$; $T_2 = \frac{3}{20}T$; $T_3 = \frac{1}{10}T$.

При τ=0

$$h_{51}(t) = -\frac{2275}{16}\cdot e^{-4\frac{t}{T}}+\frac{175}{9}\cdot\frac{t}{T}\cdot e^{-4\frac{t}{T}}-\frac{100}{3}\cdot\frac{t^2}{T^2}\cdot e^{-4\frac{t}{T}}+\frac{81}{8}\cdot e^{-\frac{20}{3}\cdot\frac{t}{T}}-\frac{16}{27}\cdot e^{-10\frac{t}{T}}+1.$$

При $\tau=T_1$

$$h_{51}(t) = \frac{175}{36}\cdot e^{-4\frac{t}{T}}-\frac{50}{3}\cdot\frac{t}{T}\cdot e^{-4\frac{t}{T}}-\frac{27}{4}\cdot e^{-\frac{20}{3}\cdot\frac{t}{T}}+\frac{8}{9}\cdot e^{-10\frac{t}{T}}+1.$$

При $\tau=2T_1$

$$h_{51}(t) = \frac{4375}{216}\cdot e^{-4\frac{t}{T}}-\frac{475}{9}\cdot\frac{t}{T}\cdot e^{-4\frac{t}{T}}+\frac{100}{3}\cdot\frac{t^2}{T^2}\cdot e^{-4\frac{t}{T}}-\frac{189}{8}\cdot e^{-\frac{20}{3}\cdot\frac{t}{T}}+\frac{64}{27}\cdot e^{-10\frac{t}{T}}+1.$$

Проведена первая серия численного эксперимента, результаты которой представлены в таблице 1.

При этом $T_1 = \frac{1}{4}T$; $T_2 = \frac{3}{20}T$; $T_2 = \frac{1}{10}T$.

Таблица 1 – Результаты первой серии численного эксперимента

$\frac{t}{T}$	h_{51}		
	$\tau = 0$	$\tau = T_1$	$\tau = 2T_1$
0	0	0	0
0,25	0,010953702	0,053525958	0,096098214
0,5	0,119765657	0,295275653	0,47078565
0,75	0,336070154	0,574692605	0,813315056
1	0,565566869	0,775223785	0,9848807
1,25	0,744299535	0,890760832	1,037222128
1,5	0,86074279	0,949774508	1,038806225
1,75	0,92842386	0,977778344	1,027132827
2	0,964800587	0,990437703	1,01607482
2,25	0,983277069	0,995969976	1,008662884
2,5	0,992271037	0,99832864	1,004386244
2,75	0,996507058	0,999315621	1,002124183

Окончание таблицы 1

3	0,998450456	0,999722643	1,00099483
3,25	0,999323213	0,999888551	1,000453888
3,5	0,999708292	0,999955536	1,00020278
3,75	0,999875692	0,999982368	1,000089044
4	0,999947549	0,999993045	1,000038541
4,25	0,999978059	0,999997269	1,000016478
4,5	0,999990892	0,999998932	1,000006972
4,75	0,999996245	0,999999584	1,000002923
5	0,999998461	0,999999838	1,000001215

По результатам первой серии численного эксперимента на рисунке 1 представлены зависимости переходных характеристик системы пятого порядка с одним корнем кратностью три и с двумя корнями кратностью один характеристического уравнения с полиномом первой степени в числителе передаточной функции при различных значениях τ.

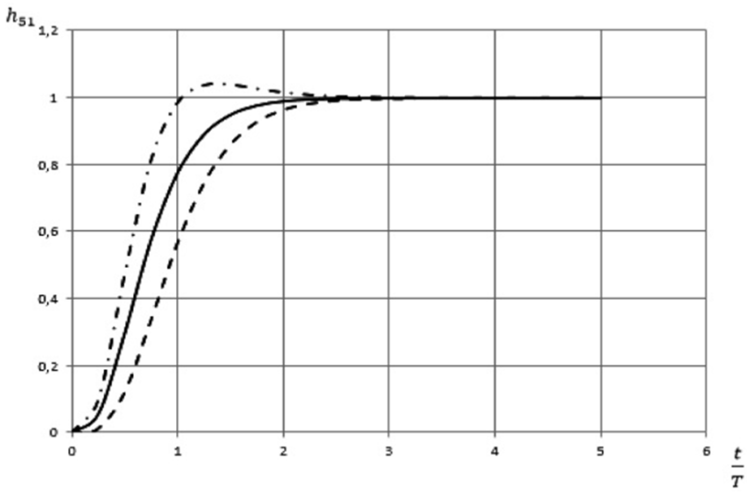

Рисунок 1 – Зависимость h_{51} от $\frac{t}{T}$ при различных τ

Вариант второй: $T_1 > T_2 > T_3$.

При этом, если $\tau = T_2$, то

$$h_{51}(t) == -\frac{T_1^2-3T_1T_2+3T_2^2}{(T_1-T_2)^3}\cdot T_1\cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{T_1-2T_2}{(T_1-T_2)^2}\cdot t\cdot e^{-\frac{t}{T_1}} -$$

$$-\frac{1}{2}\cdot\frac{1}{T_1\cdot(T_1-T_2)}\cdot t^2\cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \frac{T_3^3}{(T_1-T_2)^3}\cdot e^{-\frac{t}{T_3}} + 1.$$

Предположим $T_1 = \frac{3}{20}T$ и $T_2 = \frac{11}{40}T$.

При τ=0

$$h_{51}(t) = 40\cdot e^{-5\frac{t}{T}} + 60\cdot\frac{t}{T}\cdot e^{-5\frac{t}{T}} - 50\cdot\frac{t^2}{T^2}\cdot e^{-5\frac{t}{T}} - \frac{81}{2}\cdot e^{-\frac{10}{3}\frac{t}{T}} + \frac{1}{2}\cdot e^{-10\frac{t}{T}} + 1.$$

При $\tau = T_2$

$$h_{51}(t) = -2\cdot e^{-5\frac{t}{T}} - 25\cdot\frac{t^2}{T^2}\cdot e^{-5\frac{t}{T}} + e^{-10\frac{t}{T}} + 1.$$

При $\tau = 2T_2$

$$h_{51}(t) = -44\cdot e^{-5\frac{t}{T}} + 180\cdot\frac{t}{T}\cdot e^{-5\frac{t}{T}} - 200\cdot\frac{t^2}{T^2}\cdot e^{-5\frac{t}{T}} + \frac{81}{2}\cdot e^{-\frac{10}{3}\frac{t}{T}} + \frac{7}{2}\cdot e^{-10\frac{t}{T}} + 1.$$

Проведена вторая серия численного эксперимента, результаты которой представлены в таблице 2.

При этом $T_1 = \frac{3}{20}T$ и $T_2 = \frac{11}{40}T$.

Таблица 2 – Результаты второй серии численного эксперимента

$\frac{t}{T}$	h_{51}		
	$\tau = 0$	$\tau = T_2$	$\tau = 2T_2$
0	0	0	0
0,25	0,092906372	0,06141166	0,101262654
0,5	0,125919445	0,329536708	0,502569709
0,75	0,336279098	0,622799292	0,863345549
1	0,565918019	0,818120831	1,030440898
1,25	0,744914748	0,920734454	1,068376579
1,5	0,861236259	0,967783141	1,056827768
1,75	0,928645157	0,987550907	1,036556826
2	0,964802307	0,995369209	1,020721133
2,25	0,983168832	0,998327749	1,010885013
2,5	0,992137679	0,999410257	1,005437005
2,75	0,996391807	0,999796002	1,002621118
3	0,998366257	0,99993056	1,001231107
3,25	0,999267788	0,999976682	1,000566902
3,5	0,999674372	0,99999226	1,000257045
3,75	0,999856035	0,999997456	1,00011512
4	0,999936632	0,999999171	1,000051041
4,25	0,999972201	0,999999732	1,000022443
4,5	0,999987835	0,999999914	1,000009799
4,75	0,999994686	0,999999973	1,000004253
5	0,999997682	0,999999991	1,000001836

По результатам второй серии численного эксперимента на рисунке 2 представлены зависимости переходных характеристик системы пятого порядка с одним корнем кратностью три и с двумя корнями кратностью один характеристического уравнения с полиномом первой степени в числителе передаточной функции при различных значениях τ.

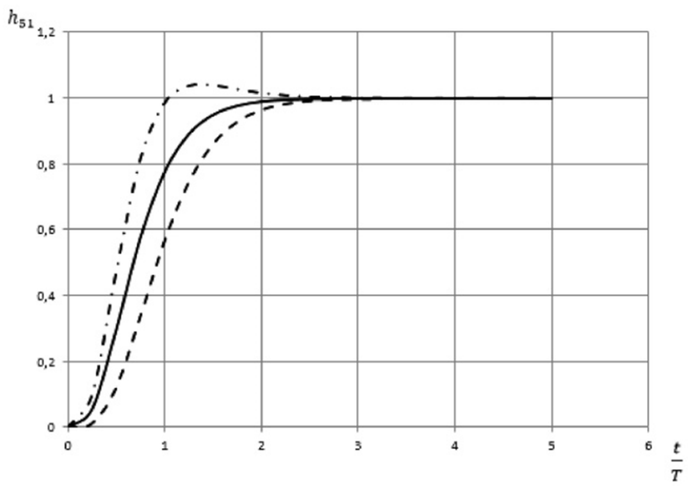

Рисунок 2 – Зависимость h_{51} от $\frac{t}{T}$ при различных τ

Выводы:

Для систем пятого порядка с одним корнем кратностью три и с двумя корнями кратностью один характеристического уравнения с полиномом нулевой степени и с полиномом первой степени числителя передаточной функции определены переходные характеристики.

Проведены первый и второй численные эксперименты, на основании которых получены зависимости переходных характеристик системы пятого порядка с одним корнем кратностью три и с двумя корнями кратностью один характеристического уравнения с полиномом первой степени в числителе передаточной функции при различных значениях τ.

Установлено: если постоянная времени полинома числителя передаточной функции пятого порядка меньше или равна большей постоянной времени знаменателя передаточной функции, то переходные характеристики систем пятого порядка с одним корнем кратностью три и с двумя корнями кратностью один характеристического уравнения с полиномом первой степени числителя передаточной функции не имеют перерегулирования.

Литература

1. Добробаба Ю.П., Мурлин А.Г., Серкин А.Д. Анализ переходных характеристик систем пятого порядка с кратными корнями характеристического уравнения // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2019. – № 1. – С. 423-429.

References

1. Dobrobaba Y.P., Murlin A.G., Serkin A.D. Analysis of transient characteristics of systems of the fifth order with multiple roots of the characteristic equation // Science. Technique. Tekhnologii. (Polytechnicheskiy Vestnik). – 2019. – № 1. – P. 423-429.