УДК 62

АНАЛИЗ ПЕРЕХОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМЫ ШЕСТОГО ПОРЯДКА С ОДНИМ КОРНЕМ КРАТНОСТЬЮ ПЯТЬ И С ОДНИМ КОРНЕМ КРАТНОСТЬЮ ОДИН ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ

–––––––

THE ANALYSIS OF TRANSIENT CHARACTERISTICS OF A SIXTH ORDER SYSTEM WITH FIVE-TIME SOLUTION AND ONE-TIME SOLUTION OF THE CHARACTERISTIC EQUATION

Добробаба Юрий Петрович
кандидат техническихнаук, доцент,
профессор кафедры
электроснабжения промышленных предприятий,
Кубанский государственный
технологический университет

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

Мурлин Алексей Георгиевич
кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры информационных систем
и программирования,
Кубанский государственный
технологический университет

Murlin Aleksey Georgievich
Candidate of technical sciences,
Associate Professor,
Associate Professor of department
of information systems and programming,
Kuban state technological university

Печёнкин Олег Андреевич
студент,
Кубанский государственный
технологический университет
pchn257@mail.ru

Pechonkin Oleg Andreevich
Student,
Kuban state technological university
pchn257@mail.ru

Аннотация. В статье [1] выполнен анализпереходных характеристик системы шестого порядкас одним корнем кратностью шесть характеристического уравнения. В данной статье анализируются переходные характеристики системы шестого порядка с одним корнем кратностью пять и с одним корнем кратностью одинхарактеристического уравнения.
Найдены переходные характеристики систем шестого порядка с одним корнем кратностью пять и с одним корнем кратностью один характеристического уравнения с полиномом нулевой степени и с полиномом первой степени в числителе передаточной функции.

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

Annotation. The article [1] analyzes the transient characteristics of a sixth order systemwith six-time solution of the characteristic equation. This article analyzes the transient characteristics of a sixthorder systemwith five-time solutionand one-time solution of the characteristic equation.
Transitional characteristics of sixth order systems with five-time solution and one-time solution of the characteristic equation with a zero degree polynomial and a first degree polynomial in numerator of transfer functionare found.

Keywords: transition characteristic, sixth order characteristic equation system, the solution of the characteristic equation.

Передаточная функция системы шестого порядка с одним корнем кратностью пять и с одним корнем кратностью один характеристического уравнения имеет вид:

$$W_{60}(p) = \frac{1}{(T_1 p + 1)^5 \cdot (T_2 p + 1)},$$

где T_1 и T_2 – постоянные времени полинома знаменателя передаточной функции шестого порядка.

Корни характеристического уравнения системы шестого порядка с одним корнем кратностью пять и с одним корнем кратностью один характеристического уравнения:

$$p_{1\div5} = -\frac{1}{T_1},$$

$$p_6 = -\frac{1}{T_2}.$$

Переходная характеристика системы шестого порядка с одним корнем кратностью пять и с одним корнем кратностью один характеристического уравнения и её первых пяти производных соответственно равны:

$$h_{60}(t) = K_1 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + K_2 \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + K_3 \cdot t^2 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + K_4 \cdot t^3 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + K_5 \cdot t^4 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + K_6 \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} + K_7;$$

$$h_{60}^{(1)}(t) = \left(-\frac{K_1}{T_1} + K_2\right) \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \left(-\frac{K_2}{T_1} + 2K_3\right) \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} +$$

$$+\left(-\frac{K_3}{T_1} + 3K_4\right) \cdot t^2 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \left(-\frac{K_4}{T_1} + 4K_5\right) \cdot t^3 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{K_5}{T_1} \cdot t^4 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{K_6}{T_2} \cdot e^{-\frac{t}{T_2}};$$

$$h_{60}^{(2)}(t) = \left(\frac{K_1}{T_1^2} - 2 \cdot \frac{K_2}{T_1} + 2K_3\right) \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \left(\frac{K_2}{T_1^2} - 4 \cdot \frac{K_3}{T_1} + 6K_4\right) \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} +$$

$$+\left(\frac{K_3}{T_1^2} - 6 \cdot \frac{K_4}{T_1} + 12K_5\right) \cdot t^2 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \left(\frac{K_4}{T_1^2} - 8 \cdot \frac{K_5}{T_1}\right) \cdot t^3 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \frac{K_5}{T_1^2} \cdot t^4 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \frac{K_6}{T_2^2} \cdot e^{-\frac{t}{T_2}};$$

$$h_{60}^{(3)}(t) = \left(-\frac{K_1}{T_1^3} + 3 \cdot \frac{K_2}{T_1^2} - 6 \cdot \frac{K_3}{T_1} + 6K_4\right) \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} +$$

$$+\left(-\frac{K_2}{T_1^3} + 6 \cdot \frac{K_3}{T_1^2} - 18 \cdot \frac{K_4}{T_1} + 24K_5\right) \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} +$$

$$+\left(-\frac{K_3}{T_1^3} + 9 \cdot \frac{K_4}{T_1^2} - 36 \cdot \frac{K_5}{T_1}\right) \cdot t^2 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \left(-\frac{K_4}{T_1^3} + 12 \cdot \frac{K_5}{T_1^2}\right) \cdot t^3 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{K_5}{T_1^3} \cdot t^4 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{K_6}{T_2^3} \cdot e^{-\frac{t}{T_2}};$$

$$h_{60}^{(4)}(t) = \left(\frac{K_1}{T_1^4} - 4 \cdot \frac{K_2}{T_1^3} + 12 \cdot \frac{K_3}{T_1^2} - 24 \cdot \frac{K_4}{T_1} + 24K_5\right) \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} +$$

$$+\left(\frac{K_2}{T_1^4} - 8 \cdot \frac{K_3}{T_1^3} + 36 \cdot \frac{K_4}{T_1^2} - 96 \cdot \frac{K_5}{T_1}\right) \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} +$$

$$+\left(\frac{K_3}{T_1^4} - 12 \cdot \frac{K_4}{T_1^3} + 72 \cdot \frac{K_5}{T_1^2}\right) \cdot t^2 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \left(\frac{K_4}{T_1^4} - 16 \cdot \frac{K_5}{T_1^3}\right) \cdot t^3 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \frac{K_5}{T_1^4} \cdot t^4 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \frac{K_6}{T_2^4} \cdot e^{-\frac{t}{T_2}};$$

$$h_{60}^{(5)}(t) = \left(-\frac{K_1}{T_1^5} + 5 \cdot \frac{K_2}{T_1^4} - 20 \cdot \frac{K_3}{T_1^3} + 60 \cdot \frac{K_4}{T_1^2} - 120 \cdot \frac{K_5}{T_1}\right) \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} +$$

$$+\left(-\frac{K_2}{T_1^5} + 10 \cdot \frac{K_3}{T_1^4} - 60 \cdot \frac{K_4}{T_1^3} + 240 \cdot \frac{K_5}{T_1^2}\right) \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} +$$

$$+\left(-\frac{K_3}{T_1^5} + 15 \cdot \frac{K_4}{T_1^4} - 120 \cdot \frac{K_5}{T_1^3}\right) \cdot t^2 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \left(-\frac{K_4}{T_1^5} + 20 \cdot \frac{K_5}{T_1^4}\right) \cdot t^3 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{K_5}{T_1^5} \cdot t^4 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{K_6}{T_2^5} \cdot e^{-\frac{t}{T_2}}.$$

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

$h_{60}(0) = 0;$

$h_{60}^{(1)}(0) = 0;$

$h_{60}^{(2)}(0) = 0;$

$h_{60}^{(3)}(0) = 0;$

$h_{60}^{(4)}(0) = 0;$

$h_{60}^{(5)}(0) = 0;$

$h_{60}(\infty) = 1,$

а начальные и конечные значения системы шестого порядка (с точки зрения математики) имеют вид:

$$h_{60}(0) = K_1 + K_6 + K_7;$$

$$h_{60}^{(1)}(0) = -\frac{K_1}{T_1} + K_2 - \frac{K_6}{T_2};$$

$$h_{60}^{(2)}(0) = \frac{K_1}{T_1^2} - 2 \cdot \frac{K_2}{T_1} + 2K_3 + \frac{K_6}{T_2^2};$$

$$h_{60}^{(3)}(0) = -\frac{K_1}{T_1^3} + 3 \cdot \frac{K_2}{T_1^2} - 6 \cdot \frac{K_3}{T_1} + 6K_4 - \frac{K_6}{T_2^3};$$

$$h_{60}^{(4)}(0) = \frac{K_1}{T_1^4} - 4 \cdot \frac{K_2}{T_1^3} + 12 \cdot \frac{K_3}{T_1^2} - 24 \cdot \frac{K_4}{T_1} + 24K_5 + \frac{K_6}{T_2^4};$$

$$h_{60}^{(5)}(0) = -\frac{K_1}{T_1^5} + 5 \cdot \frac{K_2}{T_1^4} - 20 \cdot \frac{K_3}{T_1^3} + 60 \cdot \frac{K_4}{T_1^2} - 120 \cdot \frac{K_5}{T_1} - \frac{K_6}{T_2^5};$$

$$h_{60}(\infty) = K_7,$$

то справедлива зависимость:

$$K_7 = 1.$$

При этом справедлива система уравнений:

$$K_1 + K_6 + 1 = 0; \quad (1)$$

$$-\frac{K_1}{T_1} + K_2 - \frac{K_6}{T_2} = 0; \quad (2)$$

$$\frac{K_1}{T_1^2} - 2 \cdot \frac{K_2}{T_1} + 2K_3 + \frac{K_6}{T_2^2} = 0; \quad (3)$$

$$-\frac{K_1}{T_1^3} + 3 \cdot \frac{K_2}{T_1^2} - 6 \cdot \frac{K_3}{T_1} + 6K_4 - \frac{K_6}{T_2^3} = 0; \quad (4)$$

$$\frac{K_1}{T_1^4} - 4 \cdot \frac{K_2}{T_1^3} + 12 \cdot \frac{K_3}{T_1^2} - 24 \cdot \frac{K_4}{T_1} + 24K_5 + \frac{K_6}{T_2^4} = 0; \quad (5)$$

$$-\frac{K_1}{T_1^5} + 5 \cdot \frac{K_2}{T_1^4} - 20 \cdot \frac{K_3}{T_1^3} + 60 \cdot \frac{K_4}{T_1^2} - 120 \cdot \frac{K_5}{T_1} - \frac{K_6}{T_2^5} = 0. \quad (6)$$

Из уравнения (2) следует, что

$$K_2 = \frac{K_1}{T_1} + \frac{K_6}{T_1}. \quad (7)$$

Из уравнений (3) и (7) следует, что

$$2K_3 = \frac{K_1}{T_1^2} - \frac{T_1 - 2T_2}{T_1} \cdot \frac{K_6}{T_2^2}. \quad (8)$$

Из уравнений (4), (7) и (8) следует, что

$$6K_4 = \frac{K_1}{T_1^3} + \frac{T_1^2 - 3T_1T_2 + 3T_2^2}{T_1^2} \cdot \frac{K_6}{T_2^3}. \quad (9)$$

Из уравнений (5), (7), (8), и (9) следует, что

$$24K_5 = \frac{K_1}{T_1^4} - \frac{T_1^3 - 4T_1^2T_2 + 6T_1T_2^2 - 4T_2^3}{T_1^3} \cdot \frac{K_6}{T_2^4}. \quad (10)$$

Из уравнений (6), (7), (8), (9) и (10) следует, что

$$K_1 = -\frac{T_1}{T_2} \cdot \frac{T_1^4 - 5T_1^3T_2 + 10T_1^2T_2^2 - 10T_1T_2^3 + 5T_2^4}{T_2^4} \cdot K_6. \quad (11)$$

Из уравнений (1), (7), (8), (9), (10) и (11) следует, что

$$K_6 = \frac{T_2^5}{(T_1 - T_2)^5};$$

$$K_1 = -\frac{T_1^4 - 5T_1^3T_2 + 10T_1^2T_2^2 - 10T_1T_2^3 + 5T_2^4}{(T_1 - T_2)^5} \cdot T_1;$$

$$K_2 = -\frac{(T_1 - 2T_2) \cdot (T_1^2 - 2T_1T_2 + 2T_2^2)}{(T_1 - T_2)^4};$$

$$K_3 = -\frac{T_1^2 - 3T_1T_2 + 3T_2^2}{2T_1 \cdot (T_1 - T_2)^3};$$

$$K_4 = -\frac{T_1 - 2T_2}{6T_1^2 \cdot (T_1 - T_2)^2};$$

$$K_5 = -\frac{1}{24T_1^3 \cdot (T_1 - T_2)}.$$

Таким образом, переходная характеристика системы шестого порядка с одним корнем кратностью пять и с одним корнем кратностью одинхарактеристического уравнения и её первая производная соответственно равны:

$$h_{60}(t) = -\frac{T_1^4 - 5T_1^3T_2 + 10T_1^2T_2^2 - 10T_1T_2^3 + 5T_2^4}{(T_1 - T_2)^5} \cdot T_1 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} -$$
$$-\frac{(T_1 - 2T_2) \cdot (T_1^2 - 2T_1T_2 + 2T_2^2)}{(T_1 - T_2)^4} \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{T_1^2 - 3T_1T_2 + 3T_2^2}{2T_1 \cdot (T_1 - T_2)^3} \cdot t^2 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} -$$
$$-\frac{T_1 - 2T_2}{6T_1^2 \cdot (T_1 - T_2)^2} \cdot t^3 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{1}{24T_1^3 \cdot (T_1 - T_2)} \cdot t^4 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \frac{T_2^5}{(T_1 - T_2)^5} \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} + 1;$$

$$h_{60}^{(1)}(t) = \frac{T_2^4}{(T_1 - T_2)^5} \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{T_2^3}{(T_1 - T_2)^4} \cdot \frac{t}{T_1} \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \frac{T_2^2}{2 \cdot (T_1 - T_2)^3} \cdot \frac{t^2}{T_1^2} \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} -$$
$$-\frac{T_2}{6 \cdot (T_1 - T_2)^2} \cdot \frac{t^3}{T_1^3} \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \frac{1}{24 \cdot (T_1 - T_2)} \cdot \frac{t^4}{T_1^4} \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{T_2^4}{(T_1 - T_2)^5} \cdot e^{-\frac{t}{T_2}}.$$

Передаточная функция системы шестого порядка с одним корнем кратностью пять и с одним корнем кратностью один характеристического уравнения с полиномом первой степени в числителе передаточной функции имеет вид:

$$W_{61}(p) = \frac{\tau p + 1}{(T_1p + 1)^5 \cdot (T_2p + 1)},$$

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

Переходная характеристика системы шестого порядка с одним корнем кратностью пять и с одним корнем кратностью один характеристического уравнения с полиномом первой степени в числителе передаточной функции принимает вид:

$$h_{61}(t) = \left[-\frac{T_1^4 - 5T_1^3T_2 + 10T_1^2T_2^2 - 10T_1T_2^3 + 5T_2^4}{(T_1 - T_2)^5} \cdot T_1 + \frac{T_2^4\tau}{(T_1 - T_2)^5}\right] \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} -$$
$$-\left[\frac{(T_1 - 2T_2) \cdot (T_1^2 - 2T_1T_2 + 2T_2^2)}{(T_1 - T_2)^4} + \frac{T_2^3\tau}{T_1 \cdot (T_1 - T_2)^4}\right] \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} +$$
$$+\left[-\frac{T_1^2 - 3T_1T_2 + 3T_2^2}{2T_1 \cdot (T_1 - T_2)^3} + \frac{T_2^2\tau}{2T_1^2 \cdot (T_1 - T_2)^3}\right] \cdot t^2 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} -$$
$$-\left[\frac{T_1 - 2T_2}{6T_1^2 \cdot (T_1 - T_2)^2} + \frac{T_2\tau}{6T_1^3 \cdot (T_1 - T_2)^2}\right] \cdot t^3 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} +$$
$$+\left[-\frac{1}{24T_1^3 \cdot (T_1 - T_2)} + \frac{\tau}{24T_1^4 \cdot (T_1 - T_2)}\right] \cdot t^4 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \left[\frac{T_2^5}{(T_1 - T_2)^5} - \frac{T_2^4\tau}{(T_1 - T_2)^5}\right] \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} + 1.$$

Для системы возможно два варианта.

Вариант первый справедлив для системы, если выполняется условие $T_1 > T_2$.

При этом, если $\tau = T_1$, то:

$$h_{61}(t) = -\frac{T_1^3 - 4T_1^2T_2 + 6T_1T_2^2 - 4T_2^3}{(T_1 - T_2)^4} \cdot T_1 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} -$$

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

$$-\frac{1}{6T_1^2 \cdot (T_1 - T_2)} \cdot t^3 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{T_2^4}{(T_1 - T_2)^5} \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} + 1.$$

Предположим $T_1 = 0{,}18T$, а $T_2 = 0{,}1T$,

при $\tau = 0$:

$$h_{61}(t) = -\frac{4149}{1024} \cdot e^{-\frac{50}{9} \cdot t} + \frac{1025}{128} \cdot \frac{t}{T} \cdot e^{-\frac{50}{9} \cdot t} - \frac{4375}{96} \cdot \frac{t^2}{T^2} \cdot e^{-\frac{50}{9} \cdot t} +$$

$$+\frac{15625}{972} \cdot \frac{t^3}{T^3} \cdot e^{-\frac{50}{9} \cdot t} - \frac{390625}{4374} \cdot \frac{t^4}{T^4} \cdot e^{-\frac{50}{9} \cdot t} + \frac{3125}{1024} \cdot e^{-10 \cdot \frac{t}{T}} + 1\,,$$

при $\tau = T_1$:

$$h_{61}(t) = \frac{369}{256} \cdot e^{-\frac{50}{9} \cdot t} - \frac{525}{32} \cdot \frac{t}{T} \cdot e^{-\frac{50}{9} \cdot t} + \frac{625}{72} \cdot \frac{t^2}{T^2} \cdot e^{-\frac{50}{9} \cdot t} -$$

$$-\frac{15625}{243} \cdot \frac{t^3}{T^3} \cdot e^{-\frac{50}{9} \cdot t} - \frac{625}{256} \cdot e^{-10 \cdot \frac{t}{T}} + 1\,,$$

при $\tau = 2T_1$:

$$h_{61}(t) = \frac{7101}{1024} \cdot e^{-\frac{50}{9} \cdot t} - \frac{5225}{128} \cdot \frac{t}{T} \cdot e^{-\frac{50}{9} \cdot t} + \frac{18125}{288} \cdot \frac{t^2}{T^2} \cdot e^{-\frac{50}{9} \cdot t} -$$

$$-\frac{15625}{108} \cdot \frac{t^3}{T^3} \cdot e^{-\frac{50}{9} \cdot t} + \frac{390625}{4374} \cdot \frac{t^4}{T^4} \cdot e^{-\frac{50}{9} \cdot t} - \frac{8125}{1024} \cdot e^{-10 \cdot \frac{t}{T}} + 1\,.$$

Полученные зависимости изображены на рисунке 1 в относительных единицах.

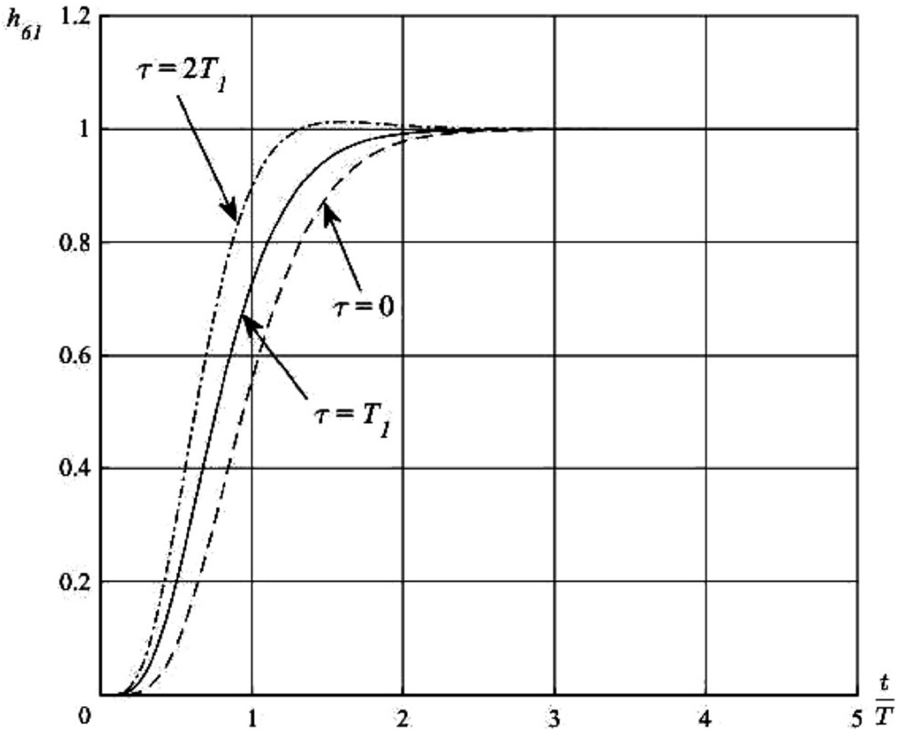

Рисунок 1 – Зависимости h_{61} от $\frac{t}{T}$ при различных τ.

Вариант второй справедлив для системы, если выполняется условие $T_1 < T_2$.

При этом, если $\tau = T_2$, то:

$$h_{61}(t) = -e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{t}{T_1} \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{1}{2} \cdot \frac{t^2}{T_1^2} \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{1}{6} \cdot \frac{t^3}{T_1^3} \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{1}{24} \cdot \frac{t^4}{T_1^4} \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + 1.$$

Предположим $T_1 = 0{,}16T$, а $T_2 = 0{,}2T$,

при $\tau = 0$:

$$h_{61}(t) = 3124 \cdot e^{-\frac{25}{4}\cdot\frac{t}{T}} + 3900 \cdot \frac{t}{T} \cdot e^{-\frac{25}{4}\cdot\frac{t}{T}} + \frac{19375}{8} \cdot \frac{t^2}{T^2} \cdot e^{-\frac{25}{4}\cdot\frac{t}{T}} +$$

$$+\frac{15625}{16} \cdot \frac{t^3}{T^3} \cdot e^{-\frac{25}{4}\cdot\frac{t}{T}} + \frac{390625}{1536} \cdot \frac{t^4}{T^4} \cdot e^{-\frac{25}{4}\cdot\frac{t}{T}} - 3125 \cdot e^{-5\cdot\frac{t}{T}} + 1\,,$$

при $\tau = T_2$:

$$h_{61}(t) = -e^{-\frac{25}{4}\cdot\frac{t}{T}} - \frac{25}{4} \cdot \frac{t}{T} \cdot e^{-\frac{25}{4}\cdot\frac{t}{T}} - \frac{625}{32} \cdot \frac{t^2}{T^2} \cdot e^{-\frac{25}{4}\cdot\frac{t}{T}} - \frac{15625}{384} \cdot \frac{t^3}{T^3} \cdot e^{-\frac{25}{4}\cdot\frac{t}{T}} - \frac{390625}{6144} \cdot \frac{t^4}{T^4} \cdot e^{-\frac{25}{4}\cdot\frac{t}{T}} + 1\,,$$

при $\tau = 2T_2$:

$$h_{61}(t) = -3126 \cdot e^{-\frac{25}{4}\cdot\frac{t}{T}} - \frac{7825}{2} \cdot \frac{t}{T} \cdot e^{-\frac{25}{4}\cdot\frac{t}{T}} - \frac{39375}{16} \cdot \frac{t^2}{T^2} \cdot e^{-\frac{25}{4}\cdot\frac{t}{T}} -$$

$$-\frac{203125}{192} \cdot \frac{t^3}{T^3} \cdot e^{-\frac{25}{4}\cdot\frac{t}{T}} - \frac{390625}{1024} \cdot \frac{t^4}{T^4} \cdot e^{-\frac{25}{4}\cdot\frac{t}{T}} + 3125 \cdot e^{-5\cdot\frac{t}{T}} + 1.$$

Полученные зависимости изображены на рисунке 2 в относительных единицах.

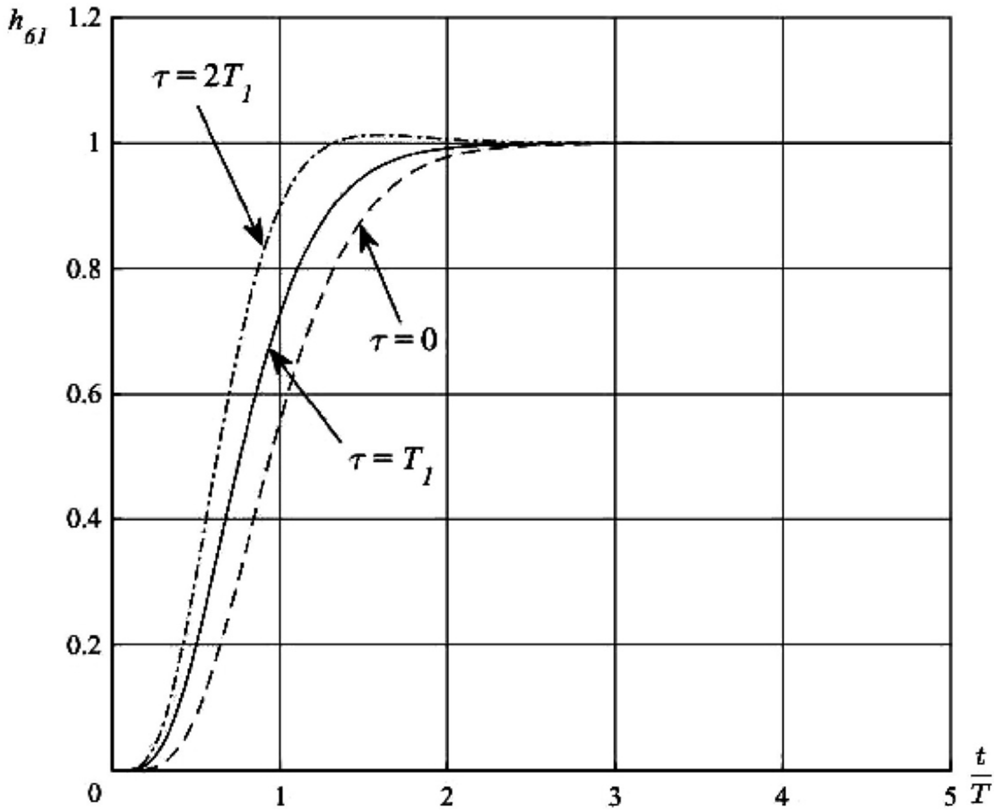

Рисунок 2 – Зависимости h_{61} от $\frac{t}{T}$ при различных τ

Выводы

Получены переходные характеристики систем шестого порядка с одним корнем кратностью пять и с одним корнем кратностью один характеристического уравнения как с полиномом нулевой степени, так и с полиномом первой степени в числителе передаточной функции. Переходная характеристика системы шестого порядка с одним корнем кратностью пять и с одним корнем кратностью один характеристического уравнения с полиномом первой степени в числителе передаточной функции не имеет перерегулирования, если постоянная времени числителя меньше или равна большей по величине постоянной времени знаменателя.

Литература:

1. Добробаба Ю.П., Мурлин А.Г., Серкин А.Д. Анализ переходных характеристик системы шестого порядка с кратными корнями характеристического уравнения // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2019. – № 1.

References:

1. Dobrobaba Yu.P., Murlin A.G., Serkin A.D. Theanalysisof transitional features of the system of the sixth order with multiple roots of the characteristic equation // Science. Engineering.Technology (polytechnical bulletin). – 2019. – № 1.