Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Калужский филиал

федерального государственного бюджетного

образовательного учреждения высшего образования

«Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)»

(КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана)

ФАКУЛЬТЕТ ***ИУК «Информатика и управление»***

КАФЕДРА ***ИУК3 «Системы автоматического управления»***

ОТЧЁТ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7

«Исследование точности линейных систем управления в установившемся режиме»

ДИСЦИПЛИНА: «Общая теория автоматического управления»

Выполнил: студент гр. ИУК3-51Б ______________ (Смирнов Ф.С.)

(Подпись) (Ф.И.О.)

Проверил: ______________ (Корнюшин Ю.П.)

(Подпись) (Ф.И.О.)

Дата сдачи (защиты):

Результаты сдачи (защиты):

- Балльная оценка:
- Оценка:

Калуга , 2023

Цель лабораторной работы - формирование практических навыков по исследованию точности линейных систем управления в установившемся режиме.

Задача лабораторной работы - освоение технологии исследования точности работы линейных систем управления в установившемся режиме. Закрепление полученных знаний на практике. Экспериментальное определение ошибки системы управления при различных входных воздействиях, анализ влияния изменения структуры системы и её параметров на ошибку системы, определение коэффициентов ошибок.

Задание на выполнение лабораторной работы

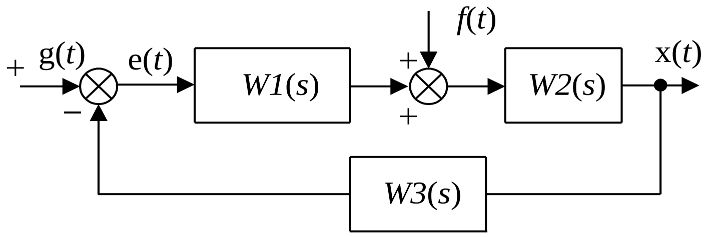

Рис. 1 – Одноконтурная система управления

Эксперимент 1. Исследование выходного сигнала $x(t)$ системы при подаче задающего воздействия $g(t)$ и возмущения $f(t)$, если $W_1(s)=\dfrac{K_1}{T_1 s+1}$

$$W_2(s)=\frac{K_2}{T_2 s+1}.$$

1.1. Получить передаточные функции для выходного сигнала замкнутой системы по задающему воздействию $g(t)=g_0 1(t)$ и возмущению $f(t)=f_0 1(t)$ в общем виде, подставить заданные параметры и занести в табл.1;

1.2. Используя теоремы о начальном и конечном значении функции, определить начальные и конечные значения выходной величины и занести в табл.1;

1.3. Набрать схему моделирования системы в Simulink;

1.4. Получить реакцию системы

- на задающее воздействие $g(t)=g_0 1(t)$ при условии, что $f(t)=0$,

- на возмущение $f(t) = f_0 1(t)$, при условии, что $g(t) = 0$,

- при подаче одновременно $g(t) = g_0 1(t)$ и $f(t) = f_0 1(t)$.

1.5. Осциллограммы переходных процессов представить на одном графике. Снять экспериментальные значения выходной величины и занести в табл.1.

Таблица 1.

$W_1(s) = \dfrac{K_1}{T_1 s + 1}$	K_1	T_1	$W_2(s) = \dfrac{K_2}{T_2 s + 1}$	K_2	T_2
	0.5	2.4		0.8	0.5
$W(s) = \dfrac{K_1 K_2}{T_1 T_2 s^2 + (T_1 + T_2)s + 1 + K_1 K_2} = \dfrac{0.4}{1.2s^2 + 2.9s + 1.4}$			$W_f(s) = \dfrac{K_2(T_1 s + 1)}{T_1 T_2 s^2 + (T_1 + T_2)s + 1 + K_1 K_2} = \dfrac{1.92s + 0.8}{1.2s^2 + 2.9s + 1.4}$		
Расчётные					
$x_g(0)$	$x_f(0)$	$x(0)$	$x_g(\infty)$	$x_f(\infty)$	$x(\infty)$
0	0	0	$0.2857 \cdot g_0$	$0.5714 \cdot f_0$	$0.2857 \cdot g_0 + 0.5714 \cdot f_0$
Экспериментальные ($g_0 = 2;\ f_0 = 1$)					
0	0	0	0.5714	0.5714	1.143

$$x_g(0) = \lim_{t \to 0} x_g(t) = \lim_{s \to \infty} sW_g(s)G(s) = \lim_{s \to \infty} s \cdot \frac{0.4}{1.2s^2 + 2.9s + 1.4} \cdot \frac{g_0}{s} = 0$$

$$x_f(0) = \lim_{t \to 0} x_f(t) = \lim_{s \to \infty} sW_f(s)F(s) = \lim_{s \to \infty} s \cdot \frac{1.92s + 0.8}{1.2s^2 + 2.9s + 1.4} \cdot \frac{f_0}{s} = \lim_{s \to \infty} \frac{\cancel{s}\left(1.92 + \dfrac{0.8}{s}\right)}{s^{\cancel{2}}\left(1.2 + \dfrac{2.9}{s} + \dfrac{1.4}{s^2}\right)} \cdot f_0 = 0$$

$$x(0) = \lim_{t \to 0} x(t) = \lim_{s \to \infty} s \cdot \left(W_g(s)G(s) + W_f(s)F(s)\right) = \lim_{s \to \infty} sW_g(s)G(s) + \lim_{s \to \infty} sW_f(s)F(s) = 0$$

$$x_g(\infty) = \lim_{t \to \infty} x_g(t) = \lim_{s \to 0} sW_g(s)G(s) = \lim_{s \to 0} s \cdot \frac{0.4}{1.2s^2 + 2.9s + 1.4} \cdot \frac{g_0}{s} = \frac{0.4}{1.4} \cdot g_0 = 0.2857 \cdot g_0$$

$$x_f(\infty) = \lim_{t \to \infty} x_f(t) = \lim_{s \to 0} sW_f(s)F(s) = \lim_{s \to 0} s \cdot \frac{1.92s + 0.8}{1.2s^2 + 2.9s + 1.4} \cdot \frac{f_0}{s} = \frac{0.8}{1.4} \cdot f_0 = 0.5714 \cdot f_0$$

$$x(\infty) = \lim_{t \to \infty} x(t) = \lim_{s \to 0} s \cdot \left(W_g(s)G(s) + W_f(s)F(s)\right) = 0.2857 \cdot g_0 + 0.5714 \cdot f_0$$

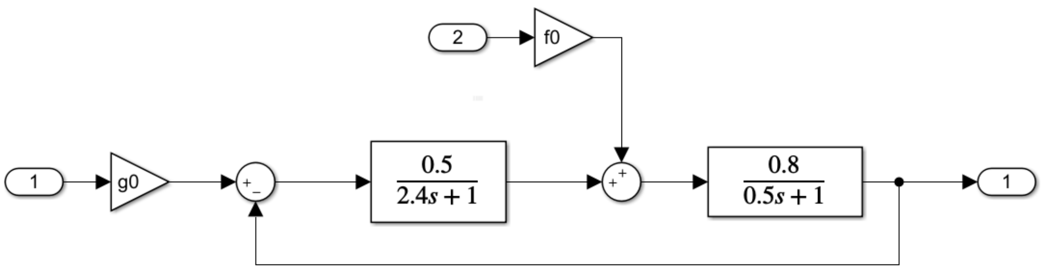

Рис. 2 – Схема моделирования системы

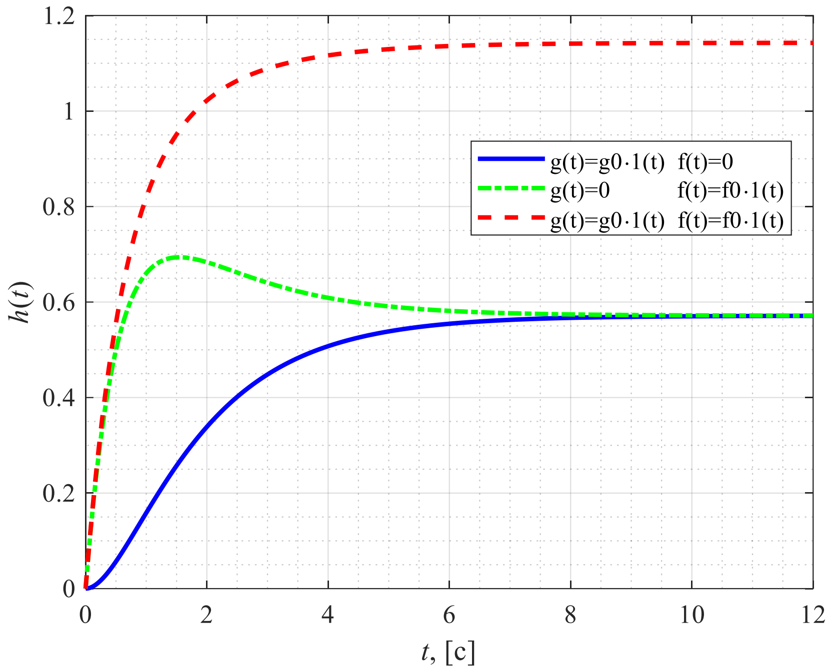

Рис. 3 – Осциллограммы переходных процессов

Эксперимент 2. Исследование сигнала ошибки системы $e(t)$ при подаче задающего воздействия $g(t)$ и возмущения $f(t)$, если $W_1(s) = \dfrac{K_1}{T_1 s + 1}$ $W_2(s) = \dfrac{K_2}{T_2 s + 1}$.

2.1. Получить передаточные функции замкнутой системы п о ошибке по задающему воздействию $g(t) = g_0 1(t)$ и возмущению $f(t) = f_0 1(t)$ в общем виде, подставить заданные параметры и занести в табл. 2;

2.2. Используя теоремы о начальном и конечном значении функции, определить начальные и конечные значения ошибки и занести в табл. 2;

2.3. При выполнении эксперимента изменить исследуемый сигнал: с выходного сигнала на сигнал ошибки;

2.4. Получить реакцию системы

- на задающее воздействие $g(t) = g_0 1(t)$ при условии, что $f(t) = 0$,
- на возмущение $f(t) = f_0 1(t)$, при условии, что $g(t) = 0$,
- при подаче одновременно $g(t) = g_0 1(t)$ и $f(t) = f_0 1(t)$.

Осциллограммы переходных процессов по ошибке представить на одном графике. Определить по графикам установившиеся значения ошибок $e_g(\infty), e_f(\infty), e(\infty)$ и занести в табл. 2;

2.5. Рассчитать коэффициенты ошибок и занести в табл. 2.

2.6. Сравнить теоретические и экспериментальные значения ошибок.

Таблица 2.

<table>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">$W_1(s)=\dfrac{K_1}{T_1s+1}$</td><td>$K_1$</td><td>$T_1$</td><td rowspan="2">$W_2(s)=\dfrac{K_2}{T_2s+1}$</td><td>$K_2$</td><td>$T_2$</td></tr>
<tr><td>0.5</td><td>2.4</td><td>0.8</td><td>0.5</td></tr>
<tr><td colspan="4">$W_e(s)=1-W(s)=\dfrac{1.2s^2+2.9s+1}{1.2s^2+2.9s+1.4}$</td><td colspan="3">$W_e^f(s)=-W_f(s)=-\dfrac{1.92s+0.8}{1.2s^2+2.9s+1.4}$</td></tr>
<tr><td colspan="7">Расчётные</td></tr>
<tr><td>$e_g(0)$</td><td>$e_f(0)$</td><td colspan="2">$e(0)$</td><td>$e_g(\infty)$</td><td>$e_f(\infty)$</td><td>$e(\infty)$</td></tr>
<tr><td>g_0</td><td>0</td><td colspan="2">g_0</td><td>$0.7143\cdot g_0$</td><td>$-0.5714\cdot f_0$</td><td>$0.7143\cdot g_0-0.5714\cdot f_0$</td></tr>
<tr><td colspan="7">Экспериментальные ($g_0=1;\ f_0=1$)</td></tr>
<tr><td>1</td><td>0</td><td colspan="2">1</td><td>0.7143</td><td>-0.5714</td><td>0.1429</td></tr>
<tr><td colspan="4">C_0^g</td><td colspan="3">C_0^f</td></tr>
<tr><td colspan="4">$C_0^g=\left\{W_e^g(s)\right\}\Big|_{s=0}=\dfrac{1}{1.4}=0.7143$</td><td colspan="3">$C_0^f=\left\{W_e^f(s)\right\}\Big|_{s=0}=-\dfrac{0.8}{1.4}=-0.5714$</td></tr>
</table>

Экспериментальные и теоретические ошибки совпадают по величине.

$$e_g(0)=\lim_{t\to 0}e_g(t)=\lim_{s\to\infty}sW_e(s)G(s)=\lim_{s\to\infty}s\cdot\frac{1.2s^2+2.9s+1}{1.2s^2+2.9s+1.4}\cdot\frac{g_0}{s}=\lim_{s\to\infty}\frac{s^2\left(1.2+\frac{2.9}{s}+\frac{1}{s^2}\right)}{s^2\left(1.2+\frac{2.9}{s}+\frac{1.4}{s^2}\right)}g_0=g_0$$

$$e_f(0)=\lim_{t\to 0}e_f(t)=\lim_{s\to\infty}sW_e^f(s)F(s)=\lim_{s\to\infty}s\cdot\frac{-(1.92s+0.8)}{1.2s^2+2.9s+1.4}\cdot\frac{f_0}{s}=\lim_{s\to\infty}\frac{-\cancel{s}\left(1.92+\frac{0.8}{s}\right)}{s^{\cancel{2}}\left(1.2+\frac{2.9}{s}+\frac{1.4}{s^2}\right)}\cdot f_0=0$$

$$e(0)=\lim_{t\to 0}e(t)=\lim_{s\to\infty}s\cdot\left(W_e(s)G(s)+W_e^f(s)F(s)\right)=g_0$$

$$e_g(\infty)=\lim_{t\to\infty}e_g(t)=\lim_{s\to 0}sW_e(s)G(s)=\lim_{s\to 0}s\cdot\frac{1.2s^2+2.9s+1}{1.2s^2+2.9s+1.4}\cdot\frac{g_0}{s}=\frac{1}{1.4}g_0=0.7143\cdot g_0$$

$$e_f(\infty)=\lim_{t\to\infty}e_f(t)=\lim_{s\to 0}sW_e^f(s)F(s)=\lim_{s\to 0}s\cdot\frac{-(1.92s+0.8)}{1.2s^2+2.9s+1.4}\cdot\frac{f_0}{s}=-0.5714\cdot f_0$$

$$e(\infty)=\lim_{t\to\infty}e(t)=\lim_{s\to 0}s\cdot\left(W_e(s)G(s)+W_e^f(s)F(s)\right)=0.7143\cdot g_0-0.5714\cdot f_0$$

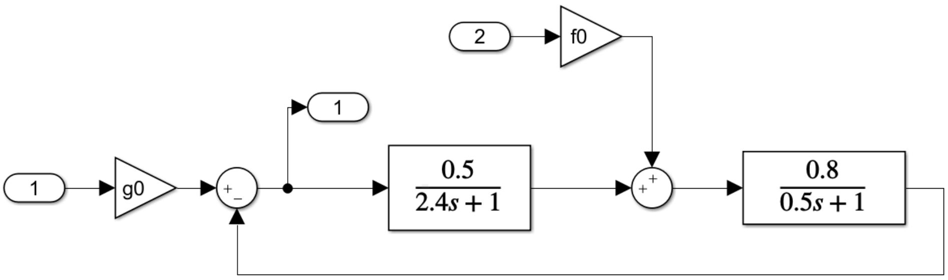

Рис. 4 – Схема моделирования системы

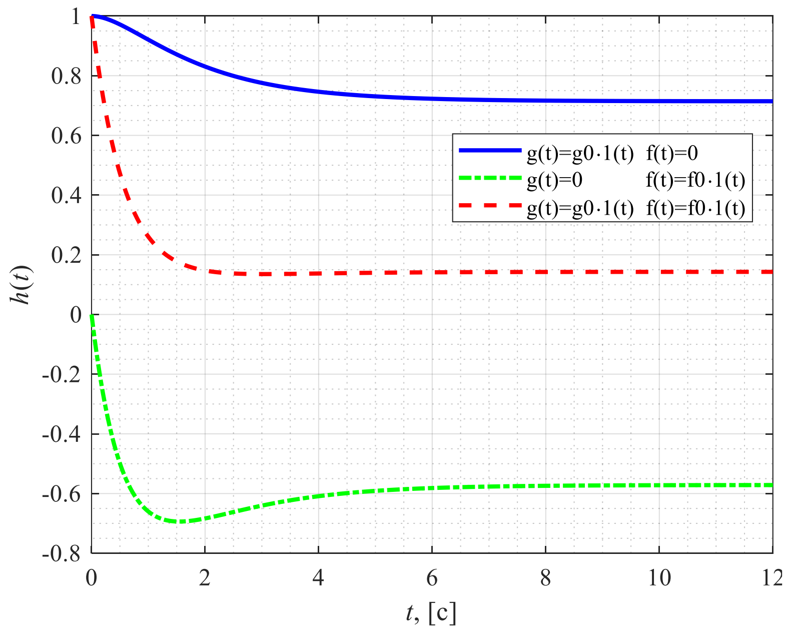

Рис. 5 – Осциллограммы переходных процессов

Эксперимент 3. Исследование сигнала ошибки системы $e(t)$ при подаче задающего воздействия $g(t)$ и возмущения $f(t)$, если $W_1(s)=\dfrac{K_1}{T_1s+1}$ $W_2(s)=\dfrac{K_2}{s}$.

Повторить пункты 2.1 – 2.5. Результаты эксперимента занести в табл.3.

1.6. Сравнить теоретические и экспериментальные значения ошибок. Сравнить полученные результаты с результатами эксперимента 2.

Таблица 3.

$W_1(s)=\dfrac{K_1}{T_1s+1}$	K_1	T_1	$W_2(s)=\dfrac{K_2}{s}$	K_2
	0.5	2.4		0.8

<table>
<tr><td colspan="4">$W(s)=\dfrac{K_1K_2}{T_1s^2+s+K_1K_2}=\dfrac{0.4}{2.4s^2+s+0.4}$
$W_e(s)=1-W(s)=\dfrac{2.4s^2+s}{2.4s^2+s+0.4}$</td><td colspan="4">$W_f(s)=\dfrac{K_2(T_1s+1)}{T_1s^2+s+K_1K_2}=\dfrac{1.92s+0.8}{2.4s^2+s+0.4}$
$W_e^f(s)=-W_f(s)=-\dfrac{1.92s+0.8}{2.4s^2+s+0.4}$</td></tr>
<tr><td colspan="8">Расчётные</td></tr>
<tr><td>$e_g(0)$</td><td colspan="2">$e_f(0)$</td><td>$e\,(0)$</td><td>$e_g(\infty)$</td><td colspan="2">$e_f(\infty)$</td><td>$e(\infty)$</td></tr>
<tr><td>g_0</td><td colspan="2">0</td><td>g_0</td><td>0</td><td colspan="2">$-2\cdot f_0$</td><td>$-2\cdot f_0$</td></tr>
<tr><td colspan="8">Экспериментальные ($g_0=1;\ f_0=1$)</td></tr>
<tr><td>1</td><td colspan="2">0</td><td>1</td><td>0</td><td colspan="2">-2</td><td>-2</td></tr>
<tr><td colspan="2">C_0^g</td><td colspan="2">C_1^g</td><td colspan="2">C_0^f</td><td colspan="2">C_1^f</td></tr>
<tr><td colspan="2">$C_0^g=0$</td><td colspan="2">$C_1^g=\left\{\dfrac{dW_e^g(s)}{ds}\right\}\Bigg|_{s=0}=2.5$</td><td colspan="2">$C_0^f=-2$</td><td colspan="2">$C_1^f=0.2$</td></tr>
</table>

Экспериментальные и теоретические ошибки совпадают по величине.

$$e_g(0)=\lim_{t\to 0}e_g(t)=\lim_{s\to\infty}sW_e(s)G(s)=\lim_{s\to\infty}s\cdot\frac{2.4s^2+s}{2.4s^2+s+0.4}\cdot\frac{g_0}{s}=\lim_{s\to\infty}\frac{s^2\left(2.4+\frac{1}{s}\right)}{s^2\left(2.4+\frac{1}{s}+\frac{0.4}{s^2}\right)}\cdot g_0=g_0$$

$$e_f(0)=\lim_{t\to 0}e_f(t)=\lim_{s\to\infty}sW_e^f(s)F(s)=\lim_{s\to\infty}s\cdot\frac{-1.92s-0.8}{2.4s^2+s+0.4}\cdot\frac{f_0}{s}=\lim_{s\to\infty}\frac{\cancel{s}\left(-1.92-\frac{0.8}{s}\right)}{s^{\cancel{2}}\left(2.4+\frac{1}{s}+\frac{0.4}{s^2}\right)}\cdot f_0=0$$

$$e(0)=\lim_{t\to 0}e(t)=\lim_{s\to\infty}s\cdot\left(W_e(s)G(s)+W_e^f(s)F(s)\right)=g_0$$

$$e_g(\infty)=\lim_{t\to\infty}e_g(t)=\lim_{s\to 0}sW_e(s)G(s)=\lim_{s\to 0}s\cdot\frac{2.4s^2+s}{2.4s^2+s+0.4}\cdot\frac{g_0}{s}=0$$

$$e_f(\infty)=\lim_{t\to\infty}e_f(t)=\lim_{s\to 0}sW_e^f(s)F(s)=\lim_{s\to 0}s\cdot\frac{-1.92s-0.8}{2.4s^2+s+0.4}\cdot\frac{f_0}{s}=-\frac{0.8}{0.4}\cdot f_0=-2\cdot f_0$$

$$e(\infty)=\lim_{t\to\infty}e(t)=\lim_{s\to 0}s\cdot\left(W_e(s)G(s)+W_e^f(s)F(s)\right)=-2\cdot f_0$$

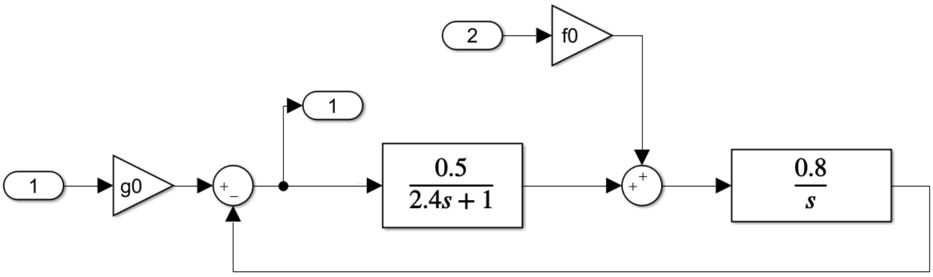

Рис. 6 – Схема моделирования системы

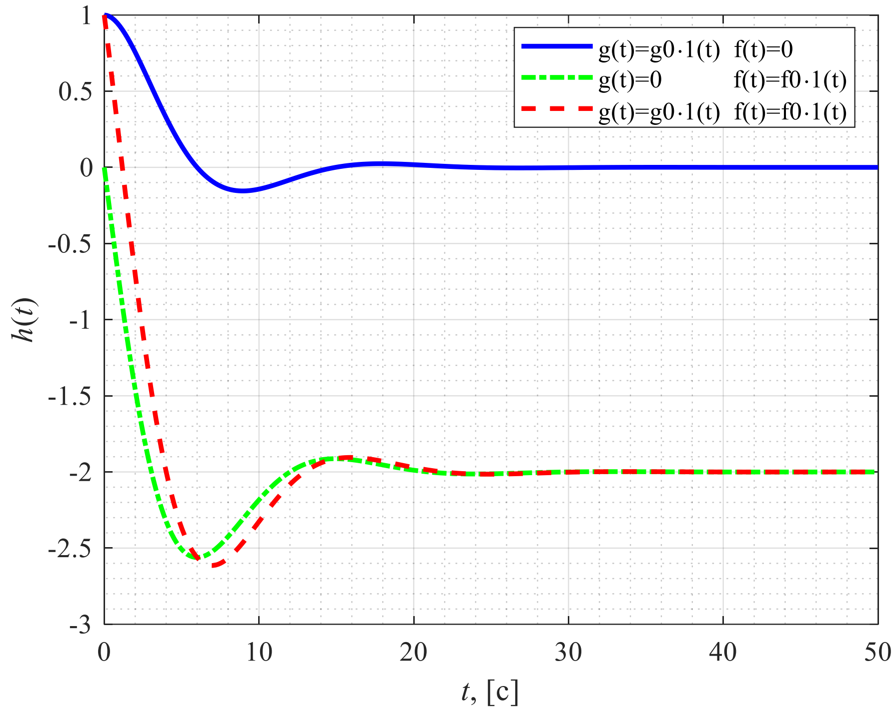

Рис. 7 – Осциллограммы переходных процессов

Точность системы при отработке задающего воздействия в эксперименте 3 возросла (система имеет астатизм первого порядка), но точность системы по возмущению уменьшилась.

Эксперимент 4. Исследование сигнала ошибки системы $e(t)$ при подаче задающего воздействия $g(t)$ и возмущения $f(t)$, если $W_1(s)=\frac{K_1}{s}$ $W_2(s)=\frac{K_2}{T_2 s+1}$.

Повторить пункты 2.1 – 2.5. Результаты эксперимента занести в табл. 4.

4.6. Сравнить теоретические и экспериментальные значения ошибок. Сравнить полученные результаты с результатами эксперимента 2 и 3.

Таблица 4.

<table>
<tr><td rowspan="2">$W_1(s)=\frac{K_1}{s}$</td><td>K_1</td><td rowspan="2">$W_2(s)=\frac{K_2}{T_2 s+1}$</td><td>$K_2$</td><td>$T_2$</td></tr>
<tr><td>0.5</td><td>0.8</td><td>0.5</td></tr>
<tr><td colspan="2">$W(s)=\frac{K_1K_2}{T_2s^2+s+K_1K_2}=\frac{0.4}{0.5s^2+s+0.4}$
$W_e(s)=1-W(s)=\frac{0.5s^2+s}{0.5s^2+s+0.4}$</td><td colspan="3">$W_f(s)=\frac{K_2 s}{T_2s^2+s+K_1K_2}=\frac{0.8s}{0.5s^2+s+0.4}$
$W_e^f(s)=-W_f(s)=-\frac{0.8s}{0.5s^2+s+0.4}$</td></tr>
<tr><td colspan="5">Расчётные</td></tr>
</table>

$e_g(0)$	$e_f(0)$	$e(0)$	$e_g(\infty)$	$e_f(\infty)$	$e(\infty)$
g_0	0	g_0	0	0	0
Экспериментальные ($g_0 = 2;\ f_0 = 1$)					
2	0	2	0	0	0

C_0^g	C_1^g	C_0^f	C_1^f
0	2.5	0	-2

Экспериментальные и теоретические ошибки совпадают по величине.

$$e_g(0) = \lim_{t\to 0} e_g(t) = \lim_{s\to\infty} sW_e(s)G(s) = \lim_{s\to\infty} s\cdot\frac{0.5s^2+s}{0.5s^2+s+0.4}\cdot\frac{g_0}{s} = \lim_{s\to\infty}\frac{s^2\left(0.5+\frac{1}{s}\right)}{s^2\left(0.5+\frac{1}{s}+\frac{0.4}{s^2}\right)}\cdot g_0 = g_0$$

$$e_f(0) = \lim_{t\to 0} e_f(t) = \lim_{s\to\infty} sW_e^f(s)F(s) = \lim_{s\to\infty} s\cdot\frac{-0.8s}{0.5s^2+s+0.4}\cdot\frac{f_0}{s} = \lim_{s\to\infty}\frac{\cancel{s}(-0.8)}{s^{\cancel{2}}\left(0.5+\frac{1}{s}+\frac{0.4}{s^2}\right)}\cdot f_0 = 0$$

$$e(0) = \lim_{t\to 0} e(t) = \lim_{s\to\infty} s\cdot\left(W_e(s)G(s)+W_e^f(s)F(s)\right) = g_0$$

$$e_g(\infty) = \lim_{t\to\infty} e_g(t) = \lim_{s\to 0} sW_e(s)G(s) = \lim_{s\to 0} s\cdot\frac{0.5s^2+s}{0.5s^2+s+0.4}\cdot\frac{g_0}{s} = 0$$

$$e_f(\infty) = \lim_{t\to\infty} e_f(t) = \lim_{s\to 0} sW_e^f(s)F(s) = \lim_{s\to 0} s\cdot\frac{-0.8s}{0.5s^2+s+0.4}\cdot\frac{f_0}{s} = 0$$

$$e(\infty) = \lim_{t\to\infty} e(t) = \lim_{s\to 0} s\cdot\left(W_e(s)G(s)+W_e^f(s)F(s)\right) = 0$$

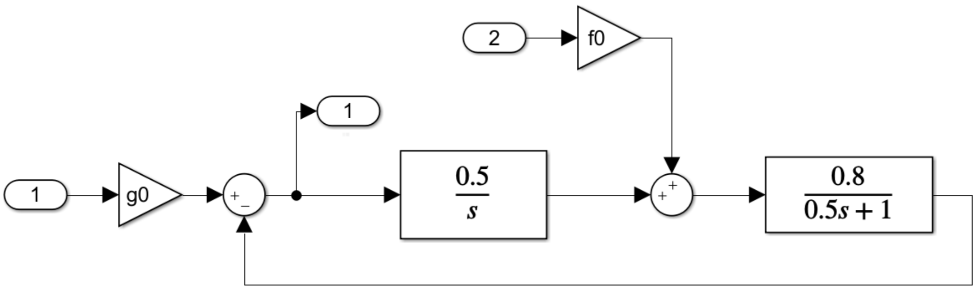

Рис. 8 – Схема моделирования системы

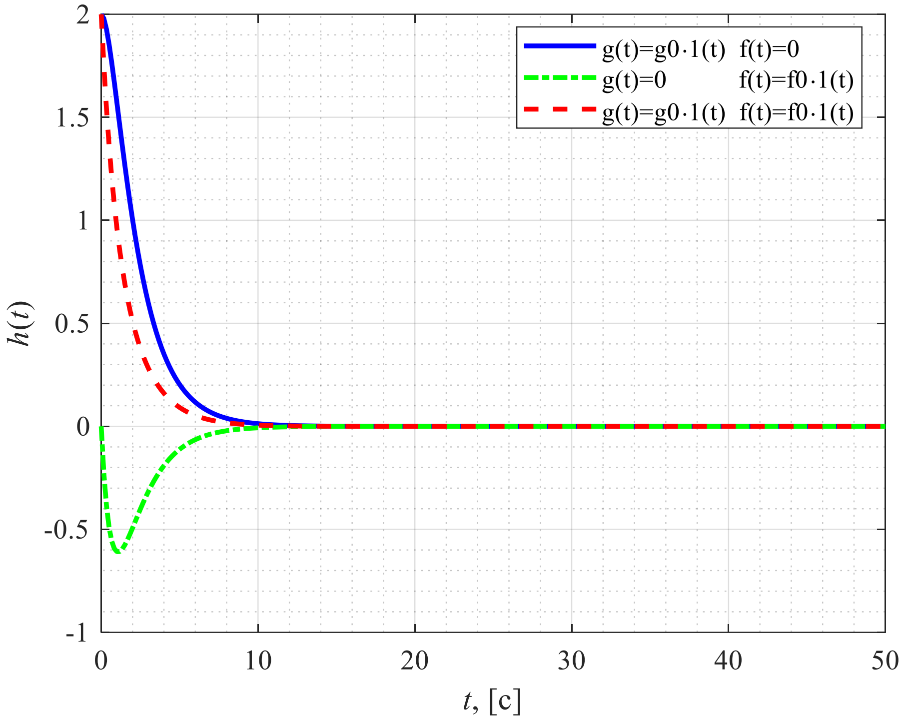

Рис. 9 – Осциллограммы переходных процессов

Точность системы по возмущению увеличилась.

Вывод: в ходе выполнения данной лабораторной работы было проведено экспериментальное определение ошибки системы управления при различных входных воздействиях, проведен анализ влияния изменения структуры системы и её параметров на ошибку системы, а также определены коэффициенты ошибок.