

# Министерство образования и науки Российской Федерации

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

## “САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, МЕХАНИКИ И ОПТИКИ”

Факультет \_\_\_\_\_ компьютерных технологий и управления

Направление(специальность) \_\_\_\_\_ управление в технических системах

Квалификация(степень) \_\_\_\_\_ бакалавр

Специализация \_\_\_\_\_ 27.03.04 Управление в технических системах

Кафедра \_\_\_\_\_ систем управления и информатики \_\_\_\_\_ Группа \_\_\_\_\_ Р3340

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА к курсовому проекту

### Синтез регулятора методом построения желаемой ЛАЧХ

Автор курсового проекта \_\_\_\_\_ Овчаров А.О. \_\_\_\_\_ (подпись)  
(фамилия, и.о.)

Руководитель \_\_\_\_\_ Григорьев В.В. \_\_\_\_\_ (подпись)  
(фамилия, и.о.)

" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 20\_17 г.

Санкт-Петербург,

20\_17 г.

Курсовой проект выполнен с оценкой \_\_\_\_\_

Дата защиты " \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 20\_17 г.

# Министерство образования и науки Российской Федерации

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

## “САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, МЕХАНИКИ И ОПТИКИ”

КАФЕДРА Систем Управления и Информатики

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой Бобцов А.А.

### З А Д А Н И Е № 67 на курсовую работу по дисциплине «Теория автоматического управления»

Студенту Овчарову Алексею

**РУКОВОДИТЕЛЬ** Григорьев Валерий Владимирович

1 Тема проекта **Синтез регулятора методом построения  
желаемой ЛАЧХ**

2 Техническое задание: спроектировать регулятор, включённый последовательно с неизменяемой частью системы. Исходные данные для проектирования:

Вид неизменяемой части системы	$W(s) = \frac{K}{(T_1s + 1)(T_2s + 1)}$
Коэффициент передачи неизменяемой части	210
Постоянная времени $T_1$	0.04 с
Постоянная времени $T_2$	0.2 с
Перерегулирование $\sigma$	27%
Время переходного процесса $t_n$	0.1с
Максимально-допустимое значение скорости $\dot{g}_{max}$	5 1/с
Максимально-допустимое значение скорости $\dot{g}_{0max}$	0.8 1/с
Максимально-допустимое значение установившейся ошибки $e_{max}$	0.015

# Содержание

Введение . . . . .	4
1 Постановка задачи . . . . .	5
2 Анализ устойчивости неизменяемой части . . . . .	6
3 Синтез регулятора . . . . .	8
3.1 Низкочастотный участок ЛАЧХ . . . . .	8
3.2 Среднечастотный участок ЛАЧХ . . . . .	9
3.3 Высокочастотный участок . . . . .	9
4 Проверочный расчет . . . . .	11
5 Реализация регулятора . . . . .	12
6 Математическое моделирование . . . . .	16
Вывод . . . . .	18
Список использованных источников . . . . .	19

Список использованных источников . . . . .					19			
Подп. и дата								
Инв. № дубл.								
Взам. инв. №								
Подп. и дата								
Инв. № подл.					КСУИ.167.Р3340.001 ПЗ			
	Изм	Лист	№ докум.	Подп.		Дата		
	Разраб.	Овчаров А.О.						
	Пров.	Григорьев В.В.						
	Н. контр.	Петраневский И.В.			Синтез последовательного регулятора для замкнутой следящей системы методом желаемых ЛАЧХ	Лит.	Лист	Листов
	Утв.						3	19
						Университет ИТМО Кафедра СУиИ		

# Введение

В данной работе мы синтезируем регулятор методом коррекции ЛАЧХ. Выполняется построение желаемой ЛАЧХ разомкнутой системы на основе ЛАЧХ неизменяемой части и заданных показателей качества.

Построение желаемой характеристики разбивается на три части: низкочастотную, среднечастотную и высокочастотную. Высокочастотная часть не оказывает никакого влияния на систему. Среднечастотная и низкочастотная части влияют на время переходного процесса, запас устойчивости по фазе и амплитуде и соответственно на перерегулирование.

После построения желаемой ЛАЧХ системы, мы можем найти передаточную функцию регулятора, выполняющего "коррекцию" неизменяемой части системы в соответствии с заданными показателями качества.

[illegible]

# 1 Постановка задачи

Задан объект управления, описание которого определяется  $W_{нч}(s)$  – передаточной функцией неизменяемой части системы. Структурная схема следящей системы представлена на рисунке 1.

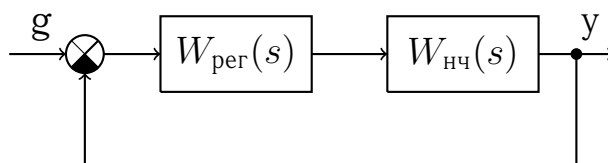


Рисунок 1 – Структурная схема проектируемой следящей системы

Требуется спроектировать регулятор, включенный последовательно с неизменяемой частью (нч) системы в контуре ошибки, с передаточной функцией  $W_{рег}(s)$ , который обеспечивает в замкнутой следящей системе с единичной обратной связью заданный набор показателей качества. Показатели качества указаны в таблице 1.

Таблица 1 – Данные

$W_{нч}(s)$	K	$T_1$	$T_2$	$t_{п}$	$\sigma$	$\dot{g}_{max}$	$\dot{g}_{0max}$	$e_{max}$
$\frac{K}{(T_1s + 1)(T_2s + 1)s}$	210	0.04	0.2	0.1	27	5	0.8	0.015

Здесь K - коэффициент передачи неизменяемой части системы;  $T_1$ ,  $T_2$  - постоянные времени (сек.);  $t_{п}$  - время переходного процесса (сек.);  $\sigma$  - перерегулирование (%);  $\dot{g}_{max}$  - максимально-допустимое значение скорости (м/с);  $\dot{g}_{0max}$  - максимально-допустимое значение амплитуды гармонического сигнала;  $e_{max}$  - максимально-допустимое значение установившейся ошибки,

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	КСУИ.167.Р3340.001 ПЗ					5

## 2 Анализ устойчивости неизменяемой части

Неизменяемая часть НЧ представлена передаточной функцией:

$$W_{\text{H}\text{I}} = \frac{210}{(0.04s + 1)(0.2s + 1)s} = \frac{210}{0.008s^3 + 0.24s^2 + s} \quad (1)$$

Также найдем полюса передаточной функции (1) для оценки устойчивости системы, они представлены ниже:

$$p_1 = 0 \qquad p_2 = -25 \qquad p_3 = -5$$

Соответственно по корневому критерию устойчивости система находится на границе устойчивости. Переходной процесс при нулевом входном воздействии и ненулевых начальных условиях ( $y(0) = 1$ ) представлен на рисунке 2.

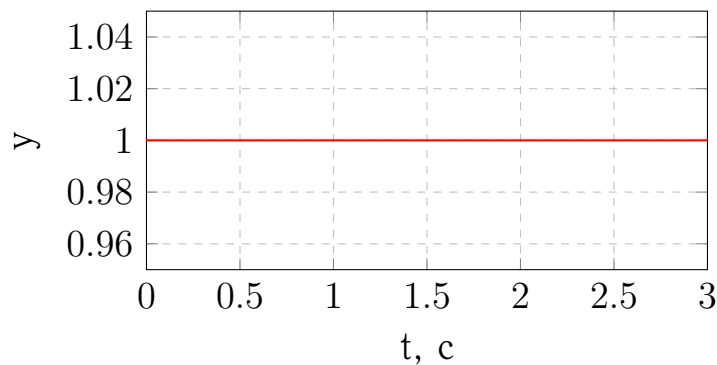


Рисунок 2 – Переходная функция

Как видно из рисунка 2 и полюсов системы (1) системы находится на границе устойчивости нейтрального типа. Давайте замкнем единичной отрицательной обратной связью систему и проведем ее анализ.

Передаточная функция замкнутой системы выглядит следующим образом:

$$W(s) = \frac{W_{\text{HЧ}}}{W_{\text{HЧ}} + 1} = \frac{210}{(0.04s + 1)(0.2s + 1)s + 210}$$

Раскрыв скобки получм:

$$W(s) = \frac{210}{0.008s^3 + 0.24s^2 + s + 210} \quad (2)$$

Для анализа устойчивости замкнутой системы построим матрицу гурвица на основании характеристического уравнения.

$$H_3 = \begin{bmatrix} 0.24 & 210 & 0 \\ 0.008 & 1 & 0 \\ 0 & 0.24 & 210 \end{bmatrix} \quad (3)$$

Найдем главные миноры данной матрицы и воспользуемся критерием Гурвица.

$$\Delta_1 = 0.24 > 0$$

$$\Delta_2 = -1.44 < 0$$

$$\Delta_3 = -302.4 < 0$$

В соответствии с критерием гурвица, поскольку система имеет отрицательные миноры, она не устойчива. Это также можно увидеть, получив переходную характеристику замкнутой системы, которая изображена ниже.

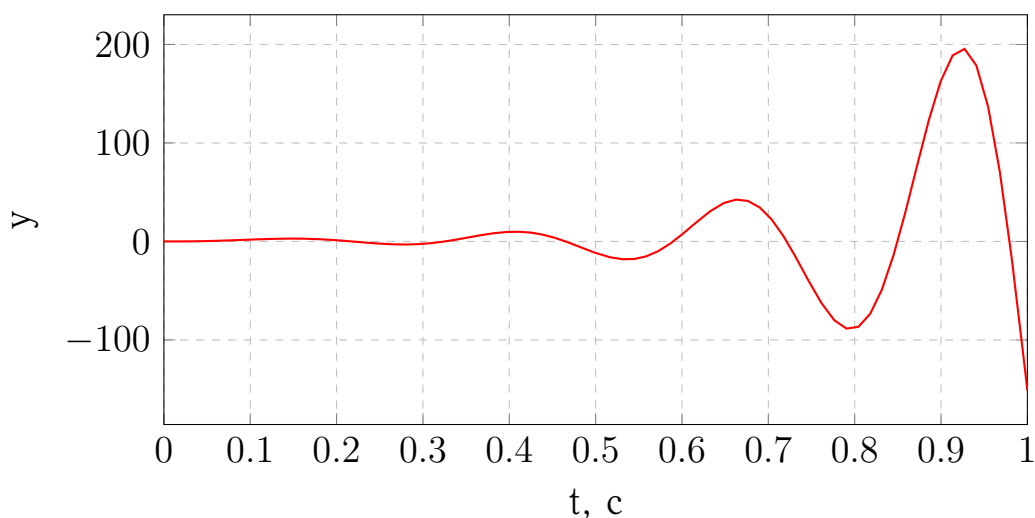


Рисунок 3 – Переходной процесс замкнутой системы

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	КСУИ.167.Р3340.001 ПЗ					Лист				
										7				
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата										

### 3 Синтез регулятора

Регулятор синтезируется методом коррекции ЛАЧХ, для чего нужно построить желаемую ЛАЧХ  $L_{\text{ж}}$  и по ней найти желаемую передаточную функцию  $W_{\text{ж}}$ . Данная функция ПФ является произведением ПФ регулятора и незименяемой части (выражение (2)). Из него можем выразить выражение для ПФ регулятора (выражение (3)).

$$W_{\text{ж}} = W_{\text{рег}} W_{\text{нч}}$$

$$W_{\text{рег}} = \frac{W_{\text{ж}}}{W_{\text{нч}}}$$

#### 3.1 Низкочастотный участок ЛАЧХ

Для системы с астатизмом первого порядка первая низкочастотная асимптота проводится так, чтобы она имела наклон -20 дБ/дек и пересекала желаемую добротность по скорости  $K_d$ . При этом вся низкочастотная часть не должна пересекать запрещенную зону, которая формируется из желаемой добротности по скорости  $K_v$  и критической частоты гармонического сигнала  $\omega_k$ .

Давайте найдем все необходимые параметры запретной зоны:

$$K_v = \frac{\dot{g}_{\text{max}}}{e_{\text{max}}} \approx 333.33$$

$$\omega_k = \frac{\dot{g}_{\text{max}}}{\dot{g}_{0\text{max}}} = 6.25$$

Для упрощения регулятора можно выбрать сопрягающую частоту  $\omega_1 = 1/T_2 = 5$ , тогда необходимо увеличить желаемую добротность по скорости. Давайте найдем  $K_d$ , учитывая  $\omega_1$ .

$$K_d = K_v \omega_k T_2 \approx 416.67$$

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата						
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	КСУИ.167.Р3340.001 ПЗ					Лист
										8



## 3.2 Среднечастотный участок ЛАЧХ

Среднечастотный участок желаемой ЛАЧХ образуется асимптотой с наклоном -20 дБ/дек, проводимой так, чтобы она пересекала ось частот при  $\omega_c$ . Этот участок проводится влево и вправо до достижения модулей, равных  $L_1$  и  $L_2$ . Затем производится сопряжение среднечастотного участка с низкочастотными асимптотами и высокочастотной частью. Для нахождения частоты среза  $\omega_c$  необходимо найти частоту положительности  $\omega_n$ , которую можно найти соответственно из диаграмм в учебнике Бесекерского.

$$\omega_n|_{\sigma=27\%} = \frac{4\pi}{t_n} \approx 125.66 \frac{1}{c}$$

$$\omega_c = 0.9\omega_n \approx 113.1 \frac{1}{c}$$

Амплитуды  $L_1$  и  $L_2$  также находятся по диаграммам в учебнике Бесекерского исходя из заданных показателей качества. В нашем случае они имеют следующие значения:

$$L_1 = 18 \text{ дБ}$$

$$L_2 = -18 \text{ дБ}$$

Для качественного выполнения заданных показателей качества среднечастотной асимптоты может превышать данные значения по модулю, но не наоборот.

Для сопряжения среднечастотного участка и низкочастотного строится прямая, имеющая наклон 40 - 60 дБ/дек. Эта прямая определяется сопрягающими частотами  $\omega_1$ ,  $\omega_2$ . Из пересечения среднечастотной асимптоты и сопрягающей можем найти  $\omega_2$ .

$$\omega_2 = \sqrt{\frac{K_d w_1^2}{w_c}} \approx 9.6$$

## 3.3 Высокочастотный участок

Данный участок не вносит большого вклада в показатели качества, поэтому его выбирают максимально удобным для составления регулятора. Теперь

Инв. № подл.	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	КСУИ.167.Р3340.001 ПЗ	Лист
							9
Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата					

только осталось найти сопрягающую частоту  $\omega_3$ :

$$\omega_3 = \frac{\omega_c}{10^{L_2/20}} \approx 898.36 \frac{1}{c}$$

По найденным ниже параметрам можем построить желаемую ЛАЧХ, изображенную на рисунке ниже.

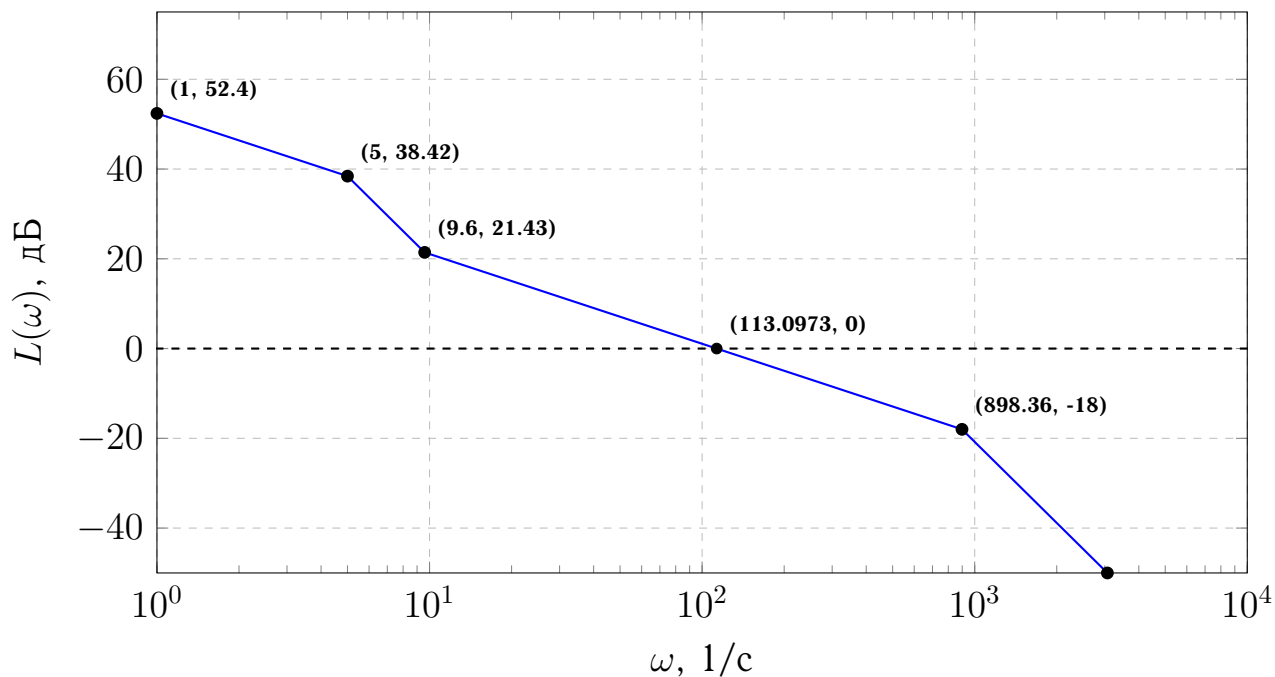


Рисунок 4 – ЛАЧХ

Теперь можем построить передаточную функцию желаемой системы:

$$W_{\text{ж}} = \frac{K_d \left( \frac{1}{\omega_2} s + 1 \right)^2}{s (T_2 s + 1)^2 \left( \frac{1}{\omega_3} s + 1 \right)^2}$$

И соответственно передаточную функцию регулятора:

$$W_{\text{рег}} = \frac{K_d / K \left( \frac{1}{\omega_2} s + 1 \right)^2 (T_1 s + 1)}{\left( \frac{1}{\omega_3} s + 1 \right)^2 (T_2 s + 1)}$$

Инв. № подл.	Подп. и дата			
	Инв. № дубл.			
	Взам. инв. №			
	Подп. и дата			
<div>Рисунок 4 – ЛАЧХ</div> <div>Теперь можем построить передаточную функцию желаемой системы:</div> <div><math display="block">W_{\text{ж}} = \frac{K_d \left( \frac{1}{\omega_2} s + 1 \right)^2}{s (T_2 s + 1)^2 \left( \frac{1}{\omega_3} s + 1 \right)^2}</math></div> <div>И соответственно передаточную функцию регулятора:</div> <div><math display="block">W_{\text{рег}} = \frac{K_d / K \left( \frac{1}{\omega_2} s + 1 \right)^2 (T_1 s + 1)}{\left( \frac{1}{\omega_3} s + 1 \right)^2 (T_2 s + 1)}</math></div>				
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
КСУИ.167.Р3340.001 ПЗ				
Лист 10				

## 4 Проверочный расчет

Выполним проверочный расчет на заданные показатели качества. А именно посчитаем предельное значение ошибки при линейно возрастающем воздействии со скоростью  $g_{max}$ .

$$\begin{aligned}\varepsilon_1 &= \frac{1}{1 + W_{ж}(s)} G(s) \Big|_{s \rightarrow 0} = \\ &= \frac{s(T_2 s + 1)^2 \left(\frac{1}{\omega_3} s + 1\right)^2}{s(T_2 s + 1)^2 \left(\frac{1}{\omega_3} s + 1\right)^2 + K_d \left(\frac{1}{\omega_2} s + 1\right)^2} \frac{g_{max}}{s} \Big|_{s \rightarrow 0} = \frac{g_{max}}{K_d} = 0.012 < e_{max}\end{aligned}$$

Теперь нужно убедиться, что разомкнутая система обладает достаточным запасом устойчивости по фазе и амплитуде.

$$\mu = 180 - 90 - 2 \operatorname{arctg} \frac{\omega_c}{\omega_3} - 2 \operatorname{arctg} \omega_c T_2 + 2 \operatorname{arctg} \frac{\omega_c}{\omega_2} \approx 90^\circ$$

$$L = 23.8 \text{ дБ}$$

где  $\mu$  - запас по фазе,  $L$  - запас по амплитуде при частоте  $\omega = 889 \text{ 1/с}$ .

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	КСУИ.167.Р3340.001 ПЗ					Лист				
										11				
										Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата



Остается только найти саму передаточную функцию:

$$W_1(p) = \frac{U_{R_2}}{U_1} = \frac{\frac{R_2}{R_1} + R_2 C_1 p}{1 + \frac{R_2}{R_1} + R_2 C_1 p} = \frac{\frac{R_2}{R_1 + R_2} (R_1 C_1 p + 1)}{\left( \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} C_1 p + 1 \right)}$$

Передаточная функция  $W_2(p)$  аналогична первой. Теперь рассмотрим часть, содержащую операционный усилитель. Запишем выражения для входного  $U_{R_2}$  и выходного  $U_2$  напряжения.

$$U_{R_2} = \frac{R_3}{R_3 C_2 p + 1}$$

$$U_2 = -\frac{R_4}{R_4 C_3 p + 1}$$

В итоге получи передаточную функцию:

$$W_3(p) = -\frac{R_4/R_3(R_3 C_2 p + 1)}{R_4 C_3 p + 1} \quad (4)$$

Как видно, из выражения (4), последняя часть регулятора инвертирует входной сигнал. Далее вход объекта управления будет подключаться инверсно к выходу регулятора.

Теперь можем записать итоговое выражения для передаточной функции регулятора:

$$W(p) = \frac{U_2}{U_1} = \frac{K (T_1 p + 1)^2 (T_3 p + 1)}{(T_2 p + 1)^2 (T_4 p + 1)}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} K = \frac{R_2^2 R_4}{(R_1 + R_2)^2 R_3} \\ T_1 = R_1 C_1 \\ T_2 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} C_1 \\ T_3 = R_3 C_2 \\ T_4 = R_4 C_3 \end{array} \right. \quad (5)$$

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата						
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	КСУИ.167.Р3340.001 ПЗ					Лист
										13

Поскольку в системе (5) 7 неизвестных и 5 уравнений, зададим  $C_1 = 10^{-6}$  Ф. Тогда можем найти  $R_1$  и  $R_2$ .

$$R_1 = \frac{T_1}{C_1} \approx 104166 \text{ Ом}$$

$$R_2 = \frac{T_1 T_2}{(T_1 - T_2) C_1} = 1125 \text{ Ом}$$

Теперь выразим  $R_3$  и  $R_4$ , подставив  $C_3 = 10^{-9}$  Ф.

$$R_3 = \frac{T_3}{C_2}$$

$$R_4 = \frac{T_4}{C_3} = 2 \cdot 10^8 \text{ Ом}$$

Подставим все в выражение для  $K$  системы (5), получим:

$$K = 570967.85 C_2 \Rightarrow C_2 = 3.48 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}$$

$$R_3 \approx 11510 \text{ Ом}$$

В итоге получим схему в Multisim, представленную ниже на рисунке.

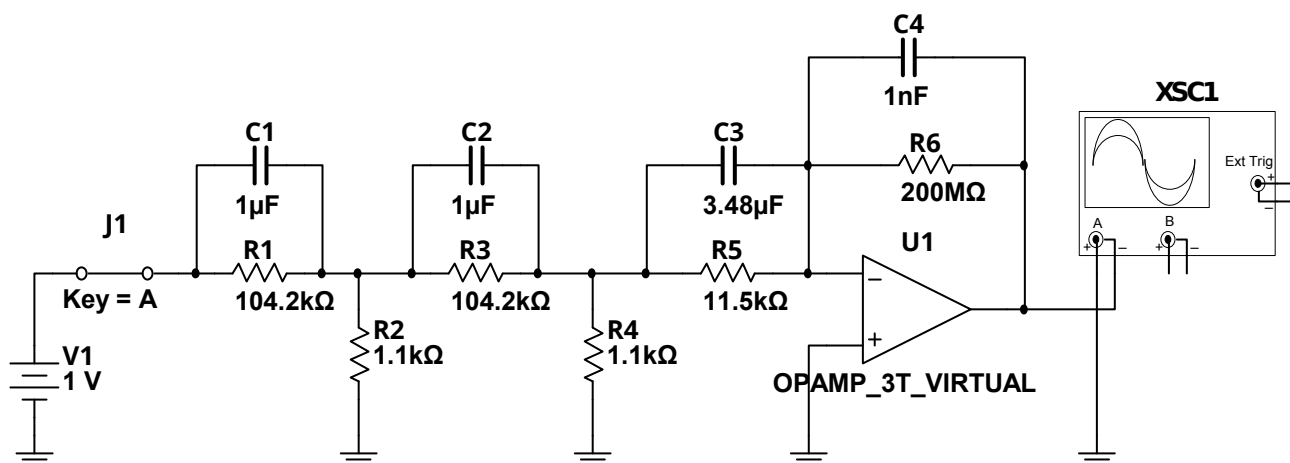


Рисунок 6 – Принципиальная хема регулятора

Инв. № подл.	Подп. и дата				Лист 14
	Инв. № дубл.				
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	КСУИ.167.Р3340.001 ПЗ

Инв. № подл.	Подп. и дата				Лист 14
	Взам. инв. №				
Инв. № дубл.	Подп. и дата				Лист 14
	Инв. № дубл.				

Рисунок 6 – Принципиальная хема регулятора

Тажке построим передаточную функцию данного регулятора в Matlab.

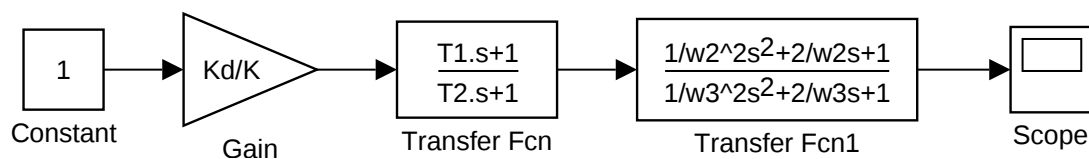
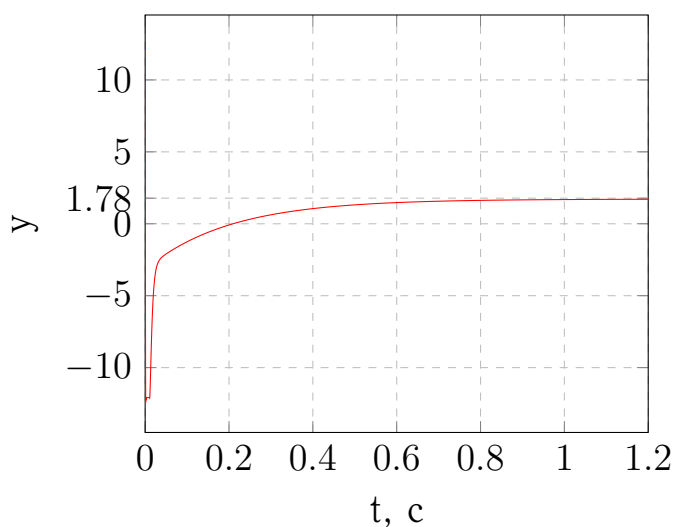
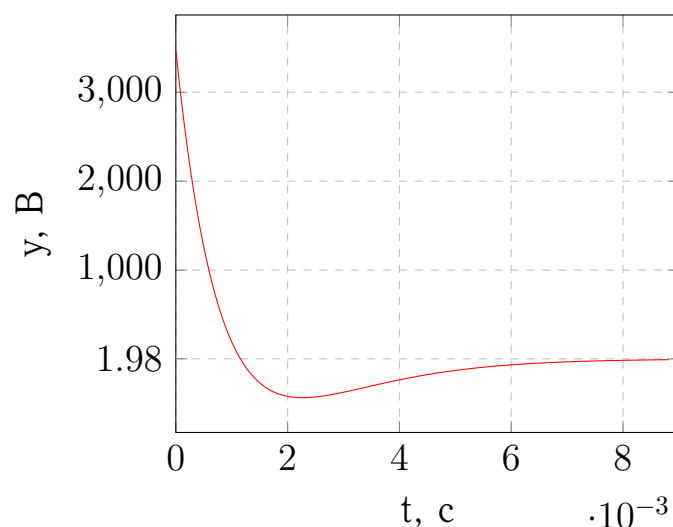


Рисунок 7 – Схема регулятора в Matlab

Теперь для выполнения качественного сравнения представим переходные характеристики системы, построенной в Matlab и системы в Multisim.



(a) Multisim



(b) Matlab

Рисунок 8 – Переходная функция регулятора

Как видно из рисунка 8, переходной процесс в Matlab проходит много быстрее, чем при симуляции электрической схемы. Также сигнал на рисунке 8 (a) ограничен в пределах  $\pm 12$  вольт из-за операционного усилителя (ОУ).

Неидеальность элементов в системе Multisim также сыграло роль в расхождении переходных процессов. Не были учтены такие явления как обратные токи ОУ, которые могут оказывать существенное влияния.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	<div><div><div>00.20.40.60.811.2002468</div><div>t, c</div><div>(a) Multisim</div></div><div><div>02468</div><div>t, c</div><div>(b) Matlab</div></div></div> <div>Рисунок 8 – Переходная функция регулятора</div>									
Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	<p>Как видно из рисунка 8, переходной процесс в Matlab проходит много быстрее, чем при симуляции электрической схемы. Также сигнал на рисунке 8 (a) ограничен в пределах <math>\pm 12</math> вольт из-за операционного усилителя (ОУ).</p> <p>Неидеальность элементов в системе Multisim также сыграло роль в расхождении переходных процессов. Не были учтены такие явления как обратные токи ОУ, которые могут оказывать существенное влияния.</p>									
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	КСУИ.167.Р3340.001 ПЗ					Лист				
										15				

## 6 Математическое моделирование

В ходе работы была построена схема моделирования полученной желаемой передаточной функции, она указана на рисунке ниже:

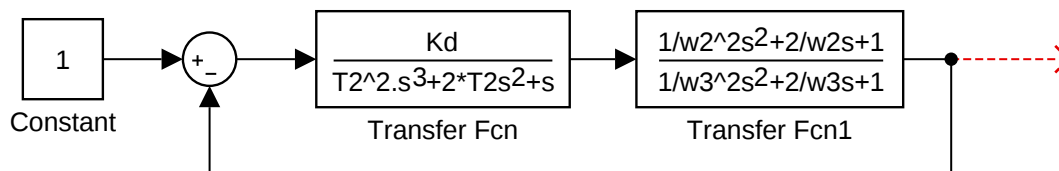


Рисунок 9 – Схема моделирования

В результате мы получили различные графики при линейно нарастающем входном воздействии и синусоидальном а также переходная функция.

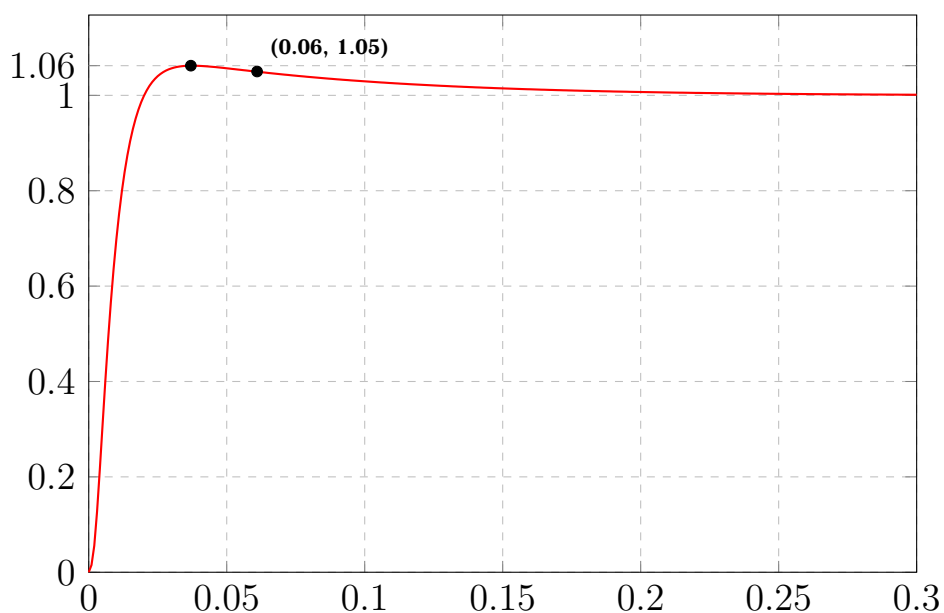


Рисунок 10 – Переходная функция

Из рисунка 10 были получены следующие показатели:

$$t_{\pi} = 0.06 \text{ с}$$

$$\sigma = 6 \%$$

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	КСУИ.167.Р3340.001 ПЗ					Лист	
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата						16	



Далее на рисунке 11 представлен график при линейно нарастающем входном воздействии, здесь  $\epsilon = 0.012$ , как и получилось при проверочном расчете.

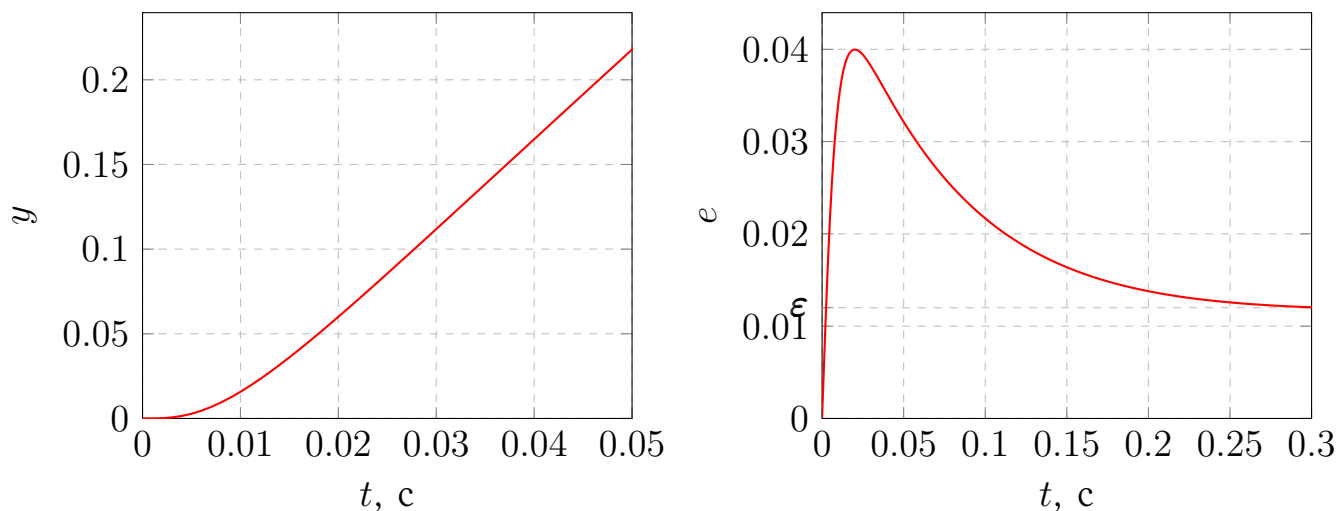


Рисунок 11 – Графики переходных процессов при  $g = 5t$

Осталось рассмотреть реакцию системы на синусоидальное воздействие  $g = 0.8 \sin 3t$ . Как видно из рисунка 12, при синусоидальном воздействии и  $\omega = 3$  ошибка  $e$  меньше 0.015.

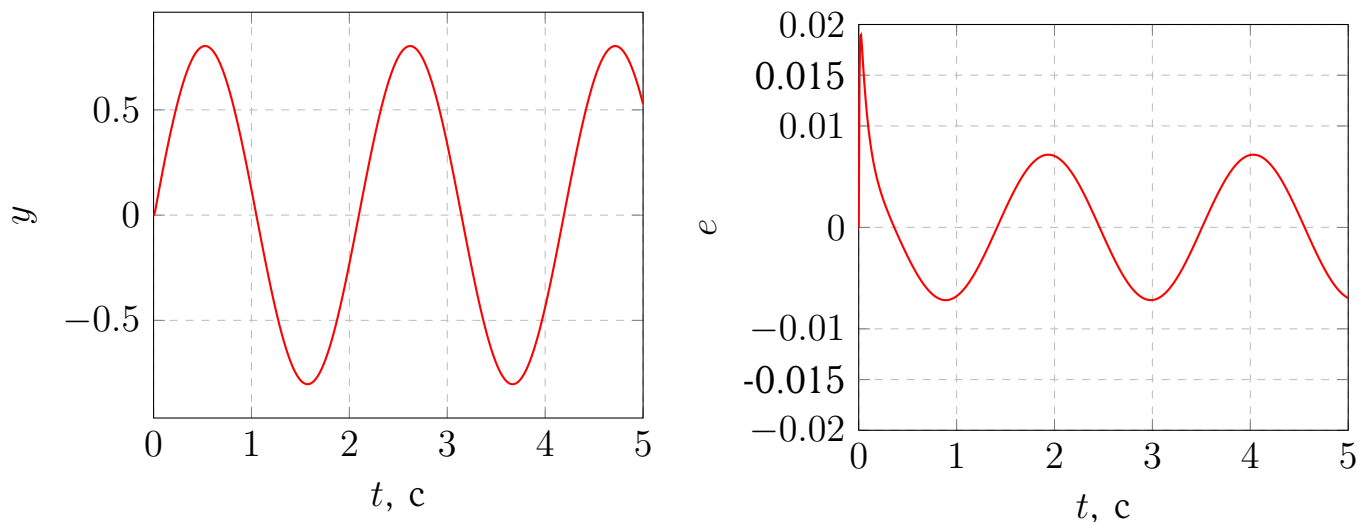


Рисунок 12 – Графики переходных процессов при  $g = 0.8 \sin 3t$

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата						
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	КСУИ.167.Р3340.001 ПЗ					Лист
										17

## Вывод

В данной работе мы синтезировали регулятор, корректирующий характеристики объекта управления. Для синтеза использовался метод коррекции ЛАЧХ, разработанный Солодовниковым В. В.

Удалось добиться следующих параметров переходного процесса: времени переходного процесса  $t_n = 0.06$  с, перегулирования  $\sigma = 6$  %, максимальной установившейся ошибки  $\varepsilon = 0.012$ . Эти факты подтверждают указанные выше проверочные расчеты и графики переходных процессов 10, 11 и 12.

При гармоническом входном воздействии  $g = g_{0max} \sin(\omega t)$  на замкнутую систему с построенным регулятором, параметры гармонического сигнала ограничиваются из условия  $\dot{g}_{0max}$  и выглядит следующим образом:  $g_{0max}\omega < \dot{g}_{0max}$ .

Была построена электрическая схема, характеризующая регулятор, введенная на основе законов Электростатики. Сравнив полученные переходные функции регулятора в Matlab и Multisim, установили их несоответствие. Так происходит из-за неучтенных физических процессов при использовании операционного усилителя, который ограничивает выходное напряжение регулятора. Данные процессы были учтены в модели Multisim, что и создало такое большое расхождение.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	<div style="text-align: center;"> <h3>КСУИ.167.Р3340.001 ПЗ</h3> </div>					Лист
										18
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата						

## Список использованных источников

1. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического управления — СПб.: Профессия, 2003. — 752 с.
2. Блинников А.А, Бойков В.И., Быстров С.В., Николаев Н.А., Нуйя О. С. Правила оформления пояснительной записки и конструкторской документации.—СПб: Университет ИТМО, 2014.—55 с.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	КСУИ.167.Р3340.001 ПЗ	Лист
						19